

Aus dem Institut für Radiologie
der Medizinischen Fakultät Charité
der Humboldt-Universität zu Berlin

DISSERTATION

Ergebnisse der CT- Angiographie bei der Diagnostik von Nierenarterienstenosen

Zur Erlangung des akademischen Grades
doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät Charité
der Humboldt-Universität zu Berlin

von
Stefan Ludewig
aus Schlema

Dekan: Prof. Dr. med. Dr. h. c. R. Felix

Gutachter: 1. Prof. Dr. med. K.- J. Wolf
2. Prof. Dr. med. B. Hamm
3. PD Dr. med. S. Mutze

Datum der Einreichung: 24. März 2000

Datum der Promotion: 6. November 2000

Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen

CT	Computer Tomographie
CTA	Computertomographische Angiographie CT – Angiographie
PTA	Perkutane transluminale Angioplastie
MRA	Magnetresonanzangiographie MR – Angiographie
TOF – MRA	Time– of– flight- Magnetresonanzangiographie
PC – MRA	Phasenkontrast – Magnetresonanzangiographie
CE – 3D – MRA	Kontrastmittelverstärkte dreidimensionale Magnetresonanzangiographie (contrast enhanced 3-dimensional MRA)
DSA	Digitale Subtraktionsangiographie
SSD	Dreidimensionale Oberflächenrekonstruktion (shaded surface display)
MIP	Maximum – Intensitäts – Projektion
cMPRa	Axiale gebogene multiplanare Rekonstruktion (curved multiplanar reformation, axial)
cMPRc	Coronale gebogene multiplanare Rekonstruktion (curved multiplanar reformation, coronal)
AS	Axiale Schnittbilder
HE	Hounsfield – Einheiten
pAVK	Periphere arterielle Verschlusskrankheit
ACE	Angiotensin converting enzyme

1	EINLEITUNG	6
1.1	Nierenarterienstenosen und renovaskuläre Hypertonie	6
1.1.1	Nierenarterienstenosen	6
1.1.2	Renovaskuläre Hypertonie	7
1.1.3	Prävalenz	7
1.1.4	Therapie	8
1.2	Diagnostik von Nierenarterienstenosen	9
1.2.1	Klinische Hinweiszeichen	9
1.2.2	Laborchemische Untersuchungen	10
1.2.3	Szintigraphie	11
1.2.4	Ultraschalluntersuchung	12
1.2.5	MR - Angiographie	13
1.2.6	Konventionelle und Digitale Subtraktions- Angiographie	15
1.2.7	Diagnostikstrategien	15
1.3	CT- Angiographie	16
1.4	Zielstellung der Arbeit	18
2	MATERIAL UND METHODEN	19
2.1	Patienten	19
2.2	Angiographie	19
2.3	CT- Angiographie	20
2.3.1	Untersuchung	20
2.3.2	Bilderstellung	21
2.4	Befunderstellung	22
2.5	Auswertung der Befunde	23
2.6	Statistische Methodik	24
3	ERGEBNISSE	27
3.1	Die Befunde der Angiographie	27
3.2	Die Befunde der CT – Angiographie	27
3.2.1	Verwendung der einzelnen Projektionen (1. Reading)	27
3.2.2	Verwendung aller Projektionen (2. Reading)	31
3.2.3	Sensitivität und Spezifität aller Untersuchungen im Vergleich	32
3.2.4	Über- und Unterschätzung des Stenosegrades	33
3.2.5	Anzahl der nicht befundeten Arterien	33
3.2.6	Kappa- Werte	34
3.2.7	Kontrastierung der Gefäße	34
3.3	Diskrepante CTA – Befunde	35

3.4	Fehlende CTA - Befunde	38
3.5	Fehlbefund der Angiographie	40
4	DISKUSSION	41
5	ZUSAMMENFASSUNG	50
6	LITERATURANGABEN	51

1 EINLEITUNG

Die Diagnose einer Nierenarterienstenose birgt für einen an arterieller Hypertonie leidenden Patienten die Chance, von seiner Erkrankung geheilt zu werden, oder zumindest eine Besserung der Blutdruckwerte und der Nierenfunktion zu erfahren. Die renovaskuläre Hypertonie als häufigste, kausal zu behandelnde, sekundäre Form des Bluthochdruckes stellt auch wegen der niedrigen Prävalenz eine diagnostische Herausforderung dar. Sawicki et al. stellten 1991 anhand von 5194 Autopsien fest, dass nur bei sieben Prozent der Patienten mit einer Nierenarterienstenose diese zu Lebzeiten diagnostiziert wurde [1]. Die Gründe hierfür waren zum Teil auch in dem Fehlen einer sensitiven und mit vertretbaren Kosten durchführbaren Untersuchung für Risikopatienten zu suchen. Die Angiographie der Nierenarterien als aufwendige und relativ invasive Methode ist dazu nicht geeignet. Die Duplex-Sonographie sowie laborchemische Tests besaßen zur Zeit der genannten Studie keine ausreichend hohe Sensitivität, die Captoprilszintigraphie war nicht weit verbreitet. Auch heute haben alle zur Verfügung stehenden Methoden Nachteile, weswegen sich keine von ihnen dazu eignet, Nierenarterienstenosen bei Hypertonikern mit hoher Sicherheit bei geringem Aufwand auszuschließen. Seit der Entwicklung des Spiral-CT-Verfahrens und der daraus entstandenen Möglichkeit der CT-Angiographie abdominaler Gefäße wird versucht, den Stellenwert dieser Methode in der bildgebenden Diagnostik von renovaskulären Stenosen festzulegen. Die vorliegende Arbeit soll die Ergebnisse der CT-angiographischen Untersuchungen der Nierenarterien am Institut für Radiologie der Charité mit denen der Angiographie vergleichen.

1.1 Nierenarterienstenosen und renovaskuläre Hypertonie

1.1.1 Nierenarterienstenosen

Bei einer Nierenarterienstenose handelt es sich um die Lumeneinengung einer Nierenarterie, die zu etwa zwei Drittel durch arteriosklerotische Plaques und zu einem Drittel durch unterschiedliche Formen von Fibrodysplasie hervorgerufen wird [2]. Unterschiede zwischen den beiden Formen sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Seltene Ursachen wie Vaskulitiden, Thromboembolie oder Kompression von außen haben einen Anteil von ca. einem Prozent [2, 3].

Tabelle 1: Merkmale arteriosklerotischer und fibrodysplastischer Nierenarterienstenosen

Pathologie	Inzidenz (%)	Alter (Jahre)	Lokalisation
Arteriosklerose	ca. 65	Meist > 50	überwiegend im proximalen Drittel
Fibrodysplasien	ca. 34	Meist 10 - 50	mittleres und distales Drittel

Nach den Untersuchungen von Stimpel et al. [3] und Meaney et al. [4] zeigt gerade die mit einem Anteil von 60 - 70 % häufigste Untergruppe der Fibrodysplasien, nämlich die Media - Fibroplasie, nur eine geringe Progressionsrate. Vollständige Okklusionen sind sehr selten.

Bei arteriosklerotischen Einengungen ist hingegen in ca. 36 bis 44 % [4, 5] der Fälle eine relativ rasche Zunahme der Stenosen zu erwarten, bei 10 bzw. 16 % sogar ein Verschluss. Zierler und Mitarbeiter fanden bei der dopplersonographischen Beobachtung von 78 Patienten über 27 Monate eine durchschnittliche Zunahme des Stenosegrades um 8 % pro Jahr [6].

Die verschlechterte Nierenperfusion als Folge einer Nierenarterienstenose führt zu einer Abnahme der glomerulären Filtrationsrate der betroffenen Niere, wodurch 6 bis 16 % der terminalen Niereninsuffizienzen hervorgerufen werden [7, 8].

1.1.2 Renovaskuläre Hypertonie

Die Verengung der Nierenarterien kann über komplexe hormonelle Veränderungen zum Blut-hochdruck führen. Entscheidend ist der Druckabfall über der Stenose, welcher von Blutviskosität, Flussgeschwindigkeit und der geometrischen Form der Stenose bestimmt wird [9]. Young et al. [9] konnten tierexperimentell zeigen, dass in Abhängigkeit vom jeweiligen Organ ein hinter einer 50 bis 80 prozentigen Stenose liegendes Gefäßbett keine Reserve mehr besitzt, einen normalen intravasalen Druck aufrechtzuerhalten. Dieser Stenosegrad wird als kritische Stenose bezeichnet. Allgemein werden Einengungen von weniger als 50 % als hämodynamisch nicht relevant angesehen [10].

Seit den tierexperimentellen Beobachtungen von Goldblatt et al. 1934 wurden bis heute zahlreiche Untersuchungen durchgeführt, welche den pathophysiologischen Mechanismus der renovaskulären Hypertonie wie folgt erklären: in der initialen, akuten Phase der Erkrankung führt die Verminderung des Nierenperfusionsdruckes zu einer gesteigerten Reninsekretion aus dem juxtaglomerulären Apparat der betroffenen Niere [11], wobei der verminderten Pulsamplitude wahrscheinlich der entscheidende Einfluss zukommt [12]. Die daraus resultierende Erhöhung der Angiotensin I und Angiotensin II - Aktivität bewirkt eine stärkere systemisch-periphere Vasokonstriktion und führt zusammen mit einer gesteigerten Natriumrückresorption aufgrund vermehrter Aldosteronfreisetzung zu einem Blutdruckanstieg [13]. In der akuten Phase führt im Tiermodell eine Beseitigung der Arterieneinengung zur Normalisierung der Blutdruckwerte. Durch morphologische Änderungen der Gefäßwandstruktur der kontralateralen Niere und der Peripherie geschieht das nicht mehr in der chronischen Phase [14], wo sich die Reninkonzentration weitgehend normalisiert und der Lipoxigenase eine entscheidende Bedeutung zukommt [15]. Zwischen den beiden Phasen existiert eine Übergangsphase, während derer normale Reninwerte gemessen werden, eine Beseitigung der Arterieneinengung aber zur Normotonie führt (Abbildung 1).

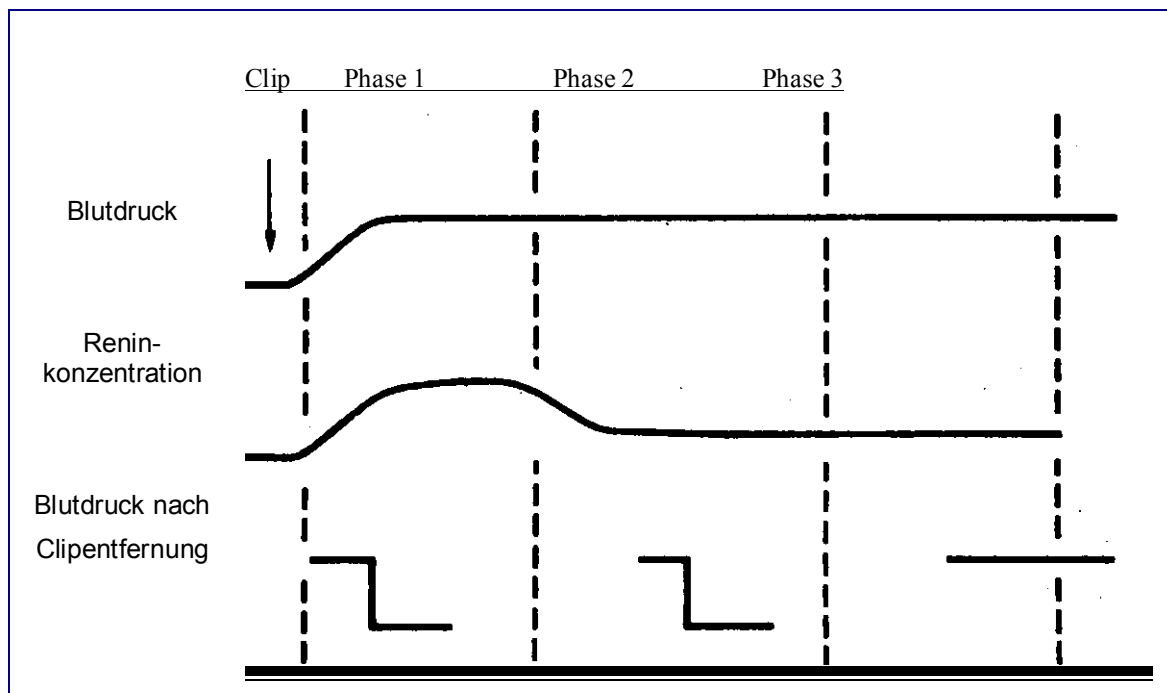


Abbildung 1: Phasen der renovaskulären Hypertonie und Verhalten von Blutdruck- und Reninkonzentration

1.1.3 Prävalenz

Bisher kann die Häufigkeit der nachweislich renovaskulären Hypertonie nur geschätzt werden.

Die Prävalenz von Nierenarterienstenosen hingegen wurde in verschiedenen Studien erforscht und ist stark abhängig von der jeweils untersuchten Population [1, 16, 17, 18, 19, 114, 115]. In Tabelle 2 sind die Ergebnisse der wichtigsten Untersuchungen hierzu dargestellt.

Tabelle 2: Studien zur Prävalenz von Nierenarterienstenosen

Autor	Prävalenz (%)	Stenosegrad (%)	Selektionskriterien	Methode	n =
Sawicki [1]	4,3	> 50	Autopsie	Autopsie	5194
Harding [16]	15	> 50	Koronarangiographie	Angiographie	1235
Missouris [17]	15,7	> 50	Hypertonie, pAVK	DSA	127
Swartbol [18]	19	> 50	Hypertonie, pAVK	DSA	100
Davis [19]	46	> 25	Hypertonie, Retinopathie	Angiographie	123

Sawicki et al. fanden bei 5194 nicht selektierten Autopsien in 4,3 % eine Nierenarterienstenose von über 50 % Lumeneinengung. Nur 73% dieser Patienten litten an einer arteriellen Hypertonie. Eine hohe Prävalenz konnten Davis et al. bei 123 Patienten mit hypertensiver Retinopathie Grad 3 oder 4 nachweisen. Es fand sich bei 46 % eine Stenose über 25 %.

1.1.4 Therapie

Die Therapie von Nierenarterienstenosen verfolgt das Ziel, die Spätfolgen und Komplikationen der Hypertonie zu vermeiden sowie die Nierenfunktion zu erhalten. Vier therapeutische Optionen sind derzeit verfügbar:

- medikamentöse Therapie
- Chirurgische Revaskularisierung
- Ballondilatation (PTA)
- Stentimplantation

Während die Beseitigung oder Linderung der Hypertonie in den meisten Fällen mit Antihypertensiva erreicht werden kann, können die invasiven Methoden auch die Nierenperfusion verbessern.

Bei der medikamentösen Behandlung mit ACE-Hemmern muss vor allem bei hochgradigen oder beidseitigen Stenosen eine Verschlechterung der glomerulären Filtration in 25 % der Fälle befürchtet werden [20]. Darum müssen regelmäßige seitengetreunte Nierenfunktionsbestimmungen erfolgen.

Eine Vielfalt renaler Revaskularisierungsoperationen bedient sich autologer Venen oder synthetischer Implantate, um in der Mehrzahl der Fälle einen aortorenenalen Bypass herzustellen. Auch besteht die Möglichkeit eines kombinierten aortorenenalen Implantates bei infrarenalem Aortenaneurysma. Mehrere Studien berichteten über eine Linderung oder Heilung der Hypertonie in 80 bis 92 % der Fälle [21, 22, 121]. Die operative Mortalität lag zwischen 1 und 3,6%. Operationen wegen fibromuskulärer Dysplasie ergaben auch wegen des niedrigeren Alters der Patienten generell bessere Resultate mit niedrigerer Mortalitätsrate. Es wurde über hervorragende Langzeiterfolge mit bis zu 74 % [22] normotensiven Patienten nach 15 Jahren berichtet.

Weniger invasiv, aber mit ähnlich guten Ergebnissen, gelingt die Therapie mit perkutaner transluminaler Angioplastie (PTA, Tabelle 3) oder Stenteinlage.

Tabelle 3: Resultate der Behandlung von Nierenarterienstenosen mit PTA

	PTA wegen Arteriosklerose				PTA wegen Fibrodysplasien			
	Patienten	Erfolg	besser	gleich	Patienten	Erfolg	besser	gleich
Venkata [23]	391	19 %	52 %	30 %	175	50 %	42 %	9 %
Kløw [24]	295	92 %	3 %	5 %	49	98 %	0 %	2 %
Kuhlmann [25]	30	29 %	46 %	25 %	15	50%	46 %	4 %

Auffällig sind wiederum die besseren therapeutischen Ergebnisse bei fibromuskulären Stenosen.

Die schlechtesten Resultate werden mit der PTA bei ostialen arteriosklerotischen Stenosen und bei Verengungen nach Nierentransplantation erzielt. Gerade hierbei sind die Ergebnisse einer Stenteinlage denen der Ballondilatation überlegen. Blum und Mitarbeiter implantierten insgesamt 74 Stents in Nierenarterien, die kein befriedigendes Ergebnis nach PTA zeigten. Eine Besserung oder Heilung der Hypertonie wurde so bei 78 % der Patienten erreicht, und nach einem Jahr waren nur 2 Stents verschlossen [26]. Damit ist die Restenoserate deutlich kleiner als nach der PTA, wo sie mit 24 bis 35 % angegeben wird [27, 28]. Die Rate der Komplikationen der PTA wie Punktionshämatome, Dissektion der Nierenarterie, Thrombosierungen und Embolien, Ruptur der Nierenarterie wird im Durchschnitt mit 10-20 % angegeben [24, 29, 30, 98].

Die Entscheidung für eine Therapieform hängt von mehreren Faktoren ab:

- Funktionelle Wirksamkeit der Stenose
- Ätiologie der Stenose mit entsprechender Prognose
- Nebenerkrankungen und Gesundheitszustand des Patienten
- Nierenfunktion
- Wirksamkeit bisheriger medikamentöser Therapie
- Erfahrungen der behandelnden Kliniken mit verschiedenen Methoden

Wegen der relativ hohen Erfolgsrate und der raschen Durchführbarkeit mit vertretbarem Risiko gilt die PTA heute für die Therapie fibromuskulärer Stenosen, unilateraler Stenosen oder bei jungen Patienten als die Methode der Wahl [31]. Trotz schlechterer Resultate bei Arteriosklerose, bilateralen oder ausge dehnten Stenosen halten viele Autoren auch hier einen Versuch in erster Linie zur Erhaltung der Nierenfunktion für gerechtfertigt [97, 99, 100]. Bei kooperativen Patienten mit guter Nierenfunktion und gutem Ansprechen auf Antihypertensiva kann unter sorgfältiger Überwachung auch konservativ behandelt werden. Prospektive kontrollierte Studien über Langzeitergebnisse aller Methoden im Vergleich liegen derzeit nicht vor.

1.2 Diagnostik von Nierenarterienstenosen

Durch die potenzielle Kurabilität der renovaskulären Hypertonie und die Bedeutung für die Funktionserhaltung der Nieren ist das besondere Interesse an der Diagnosestellung begründet. Die geringe Prävalenz zwingt zu einem sensitiven aber effizienten diagnostischen Vorgehen.

1.2.1 Klinische Hinweiszeichen

Wegen des seltenen Vorkommens wird von vielen Autoren eine apparative Diagnostik nur dann empfohlen, wenn anamnestische und klinische Daten einen eindeutigen Verdacht auf eine Nierenarterienstenose ergeben [32, 31, 46, 47, 74, 79, 81]. Allerdings liegt auch bei relevanten Stenosen der Anteil an asymptomatischen Patienten bei ca. 27% [1, 18]. Fibromuskuläre Stenosen finden sich häufiger bei Frauen im

jugendlichen Alter, während die arteriosklerotische renovaskuläre Hypertonie vor allem bei Männern nach dem 50. Lebensjahr diagnostiziert wird [33].

Hinweise auf eine renovaskuläre Ursache eines Bluthochdruckes sind:

- das Auftreten vor dem 30. oder nach dem 50. Lebensjahr,
- diastolische Blutdruckwerte >120 mm Hg [32]
- schlechtes Ansprechen auf medikamentöse Therapie [10]
- die Verschlechterung der Nierenfunktion unter ACE - Hemmern [34]
- ein systolisch- diastolisches Strömungsgeräusch im Epigastrium in ca. 40% [35]

Zudem ist die Wahrscheinlichkeit für diese Erkrankung höher bei Vorliegen von:

- peripherer arterieller Verschlusskrankheit [17]
- koronarer Herzkrankheit [16]
- Hypertensiver Retinopathie Grad III oder IV [19]
- Diabetes mellitus[18], besonders in Kombination mit arterieller Hypertonie [1]

1.2.2 Laborchemische Untersuchungen

Die Bestimmung der **Plasmareninaktivität** sowie der Nierenvenenreninaktivität und der Captopriltest sind nicht oder nur gering invasiv. Prinzipiell messen diese Methoden die Reninsekretion und geben so Hinweise zur hämodynamischen Wirksamkeit einer Verengung.

Die Plasmareninaktivität ist nur bei 50 bis 80 % der Patienten mit renovaskulärer Hypertonie erhöht, was auch bei ca. 16 % der Patienten mit essenzieller Hypertonie der Fall sein kann [36]. Es handelt sich um ein aufwendiges, störanfälliges und nicht sehr aussagekräftiges Verfahren, da die Reninfreisetzung durch Medikamente, Erkrankungen und von der Körperhaltung beeinflusst wird [23]. Bei Patienten ohne Medikation und mit normaler Nierenfunktion spricht eine Normalbefund jedoch sehr gegen eine renovaskuläre Hypertonie [37].

Beim **Captopriltest** wird durch Gabe eines ACE- Hemmers ein deutlicher reaktiver Anstieg der Nierenreninsekretion hervorgerufen, da dieses Medikament die Nierenperfusion reduziert, besonders auf der stenosierte Seite. Mit dieser Methode lässt sich die Aussagekraft der Plasmareninaktivitätsbestimmung erheblich verbessern [37] (Tabelle 4).

Tabelle 4: Diagnostische Wertigkeit des Captopriltests bei der Diagnostik von Nierenarterienstenosen in klinischen Studien

Autor	Sensitivität (%)	Spezifität (%)	Patienten	Prävalenz renovask. Hypertonie (%)
Mueller [37]	100	95	152	26
Frederickson [38]	69	89	100	29
Gosse [39]	73	84	103	11
Derkx [40]	84	93	179	50
Postma [41]	38	95	149	29
Elliott [42]	76	82	150	33
Mittelwerte:	73	90	Σ 833	22,2

Die seitengetrennte Bestimmung der **Nierenvenenreninaktivität** kann bei 56 - 95 % der Patienten den Therapieerfolg einer Stenosenbeseitigung vorhersagen [21, 43], wie Tabelle 5 belegt. Auch hier lässt sich die Aussagekraft durch Gabe von Captopril verbessern. Schwierig ist die Diagnosenstellung bei bilateralen Gefäßstenosen. Die Methode ist aufwendig (femorale Venenkatheterisierung), kostenintensiv und birgt mehrere Störquellen. ACE-Hemmer und Betablocker müssen abgesetzt werden.

Tabelle 5: Diagnostische Wertigkeit der Nierenvenenreninaktivitätsbestimmung bei der Diagnostik von Nierenarterienstenosen in klinischen Studien. Als Referenz diente in beiden Arbeiten der Operationserfolg.

Autor	Sensitivität (%)	Spezifität (%)	Patienten	Prävalenz (%)
Maxwell [44]	75	-	66	100
Pickering [21]	74	100	46	100

1.2.3 Szintigraphie

Die szintigraphischen Verfahren haben als sichere, nichtinvasive und relativ unkomplizierte nuklearmedizinische Methoden eine besondere Bedeutung bei der Nierenarteriendiagnostik erlangt. Sie detektieren eine veränderte Nierenperfusion und -funktion, wodurch sich oft auch eine Erfolgsvoraussage für die Revaskularisation treffen lässt. Vorteile gegenüber den laborchemischen Tests sind die höhere Aussagekraft, die geringere Störanfälligkeit und die Durchführbarkeit unter antihypertensiver Medikation (außer ACE-Hemmern).

Für die **Nierenperfusionsszintigraphie** stehen mit 131 Jodhippuran und 99 m Technetium markierte Trägersubstanzen zur Verfügung. Diese reichern sich in einer ungenügend perfundierten Niere verzögert an und werden langsamer ausgeschieden als auf der Gegenseite. Es ergeben sich typische Aktivitätsmuster und -kurven. Sensitivität und Spezifität (Tabelle 6) reichen aber für eine zuverlässige Untersuchung bei niedriger Prävalenz nicht aus.

Tabelle 6: Diagnostische Wertigkeit der Nierenperfusionsszintigraphie bei der Diagnostik von Nierenarterienstenosen in klinischen Studien. Referenzmethode war bei beiden Studien die Angiographie.

Autor	Sensitivität (%)	Spezifität (%)	Patienten	Prävalenz (%)
Maxwell [45]	85	81	800	47
Kaufmann [46]	59	94	926	52
Mittelwerte	72	89	Σ 1726	49,5

Die **Captoprilrenographie** hingegen ermöglicht bei den oben genannten Vorteilen der nuklearmedizinischen Methoden nahezu den Ausschluss einer relevanten Nierenarterienstenose [47].

Durch die Gabe eines ACE - Hemmers vor der Untersuchung vergrößern sich die Unterschiede der Nierenperfusion von gesunder und stenosierter Seite. Das Auftreten von Captopril - induzierten Veränderungen prognostiziert den Erfolg einer Revaskularisierung mit hoher Genauigkeit [32, 46, 48]. Die Aquisitionszeit beträgt ca. 30 min. Ein Risiko der Methode ist die akute Niereninsuffizienz bei Vorliegen hochgradiger, beidseitiger Stenosen [49]. Tabelle 7 gibt Resultate aus einer Vielzahl von Studien zu dieser Methode wieder.

Tabelle 7: Diagnostische Wertigkeit der Captoprilszintigraphie bei der Diagnostik von Nierenarterienstenosen in klinischen Studien. Referenzmethode war in allen Studien die Angiographie.

Autor	Sensitivität (%)	Spezifität (%)	Patienten	Prävalenz (%)
Elliott [42]	91	80	150	41
Dondi [117]	92	97	100	37
Mc Lean [118]	93	70	104	26
Mann [119]	94	95	55	64
Chen [120]	91	93	50	46
Mittelwerte	92,2	87	Σ 459	42,8

1.2.4 Ultraschalluntersuchung

Mit der farbkodierten Duplexsonographie hat die Ultraschalluntersuchung erheblich an diagnostischer Wertigkeit in bezug auf Nierenarterienstenosen gewonnen. Das Dopplersignal wird in mehreren Segmenten der Nierenarterie abgeleitet und die Flussgeschwindigkeit bestimmt. Verschiedene Parameter und Indizes ermöglichen auf nichtinvasivem Weg die Abschätzung des mittleren Druckgradienten über der Stenose. Die in Tabelle 8 aufgeführten Autoren haben ihre Befunde sämtlich mit der Angiographie verglichen.

Tabelle 8: Diagnostische Wertigkeit der Ultraschalldiagnostik von Nierenarterienstenosen in klinischen Studien

Autor	Sensitivität (%)	Spezifität (%)	Stenosegrad (%)	Patienten	Prävalenz (%)
Handa [50]	100	93	50	31	32
Hawkins [51]	100	100	Jegl. Stenose	16	94
Hoffmann [52]	95	90	Jegl. Stenose	41	93
Haag [53]	97	95	„Relevant“	50	38
Miralles [54]	87	92	60	78	61
Oliva [55]	81	98	50	71	36
Oliva nach Captopril [55]	100	100	50	48	27
Halpern [56]	63	89	50	56	36
Mittelwerte *	90,4	94,6		Σ 391	52,1

* Wegen der uneinheitlichen Kriterien für die Diagnose „Stenose“ in den aufgeführten Studien ist eine Mittelwertberechnung für die diagnostische Güte statistisch nicht korrekt durchführbar.

Ein Teil der Autoren lehnte noch vor wenigen Jahren den Einsatz dieser Methode in der Nierenarterien-diagnostik wegen folgender Nachteile ab:

- Beidseitige Beurteilbarkeit der Arterien in nur 82 - 98 % [50, 57]
- Qualität in starkem Maße vom Untersucher abhängig
- Polararterien werden häufig nicht oder falsch beurteilt [56].

Die Sonographie ist jedoch nichtinvasiv, benötigt weder Röntgenstrahlen noch Kontrastmittel und lässt sich auch als Verlaufskontrolle beliebig oft einsetzen. Die Anhebung des Dopplersignals um 15 bis 25 dB mittels Levovist®, einem Ultraschallkontrastmittel, steigert die Wertigkeit der Gefäßsonographie noch beträchtlich [58]. Vielversprechend sind auch die Ergebnisse von Oliva et al. [55], welche bei der Dopp- lersonographie nach Captoprilgabe eine Sensitivität und Spezifität von 100 % erreichten. Weitere in Er- probung befindliche Methoden sind der Harmonic Doppler, der Power- Doppler und die Berechnung von Druckgradienten anhand der Geschwindigkeitsprofile [59].

1.2.5 MR - Angiographie

Die MR - Angiographie hat eine rasante Entwicklung mit zahlreichen methodischen Weiterentwicklungen erfahren. Als nichtinvasive Untersuchung ohne Strahlenexposition oder die Risiken eines jodhaltigen Kontrastmittels liefert sie dreidimensionale oder angiographieähnliche Bilder, die nach Bearbeitung aus beliebigen Blickwinkeln beurteilt werden können. Es stehen prinzipiell drei Verfahren zur Verfügung: Time – of – Flight – MRA, Phasenkontrast – MRA und kontrastverstärkte 3D – MRA. Vor- und Nachteile sind in Tabelle 9 erläutert.

Tabelle 9: Merkmale verschiedener Magnetresonanztomographieverfahren

	Vorteile	Nachteile
TOF-MRA	<ul style="list-style-type: none"> • kurze Aufnahmezeit • guter Kontrast • relativ große Anzahl (20-128) dünner Schichten 	<ul style="list-style-type: none"> • Signalverlust bei langsamem Blutfluss und Gefäßverlauf in Schnittebene • Überschätzung des Stenosegrades
PC-MRA	<ul style="list-style-type: none"> • hohe Empfindlichkeit • exzellenter Kontrast auch bei langsa- mem Blutfluss 	<ul style="list-style-type: none"> • Zeitaufwendig (ca. 15 min) • Überschätzung des Stenosegrades [61].
CE-3D-MRA	<ul style="list-style-type: none"> • atemangehaltene Aufnahmen • akzessorische Arterien in 61 bis 94 % darstellbar [72, 67]. 	<ul style="list-style-type: none"> • leistungsfähiges Gradientenspulen- system nur in wenigen Zentren verfü- bar

Die Tabellen 10 bis 12 geben die Resultate der einzelnen Methoden, gemessen am angiographischen Befund, wieder. Wegen der uneinheitlichen Graduierung des Stenosegrades und teilweise ausgeklam- merten Resultaten bei akzessorischen Arterien ist eine Mittelwertberechnung für Sensitivität und Spezifi- tät der aufgeführten Studien der drei Tabellen statistisch nicht korrekt durchführbar, so dass nur Anhalts- werte angegeben werden.

Tabelle 10: Diagnostische Wertigkeit der TOF-MRA bei der Diagnostik von Nierenarterienstenosen in klinischen Studien

Autor	Sensitivität (%)	Spezifität (%)	Stenosegrad (%)	Patienten	Prävalenz (%)
Strotzer [68]	100	90	60	55	9
Duda [66]	84	47	50	22	43
Mittelwerte	92	68,5		Σ 77	26

Tabelle 11: Diagnostische Wertigkeit der PC-MRA bei der Diagnostik von Nierenarterienstenosen in klinischen Studien (akzessorische Nierenarterien ausgenommen). Die mit * gekennzeichneten Studien beziehen sich nur auf das proximale Drittel der Gefäße.

Autor	Sensitivität (%)	Spezifität (%)	Stenosegrad (%)	Patienten	Prävalenz (%)
Miller [63]	100	76	50	17	36
Wasser* [64]	92	75	$\Delta p > 15 \text{ mmHg}$	16	47
Loubeyre [65]	100	65	50	46	10
Duda* [66]	84	76	50	22	43
De Cobelli [67]	94	96	50	55	24
Mittelwerte	94	77,6		Σ 156	32

Tabelle 12: Diagnostische Wertigkeit der CE-3D-MRA bei der Diagnostik von Nierenarterienstenosen in klinischen Studien

Autor	Sensitivität (%)	Spezifität (%)	Stenosegrad (%)	Patienten	Prävalenz (%)
Reymont [69]	100	71	50	30	34
Bakker * [70]	97	92	50	54	49
Hany [71]	90	99	50	49	48
Miller * [63]	89	63	50	17	36
Steffens [72]	96	95	Jegliche Stenose	50	20
Snidow * [73]	100	89	50	32	17
De Cobelli * [67]	100	97	50	55	24
Mittelwerte	96	86,6		Σ 287	32,6

1.2.6 Konventionelle und Digitale Subtraktions- Angiographie

Die Angiographie gilt als Referenzmethode zur Darstellung von Arterien. Die Vorgehensweise wird unter 2.2. erläutert. Vor- und Nachteile sind in Tabelle 13 zusammengestellt.

Tabelle 13: Vor- und Nachteile der konventionellen Angiographie

Vorteile	Nachteile
hervorragende Darstellung kleinster Gefäße	Komplikationsrisiko durch arterielle Punktion
Intervention (PTA) möglich	anschließend Bettruhe des Patienten nötig
intraluminale Druckmessung möglich	hoher personeller Aufwand
Differenzierung der Dysplasietypen möglich	hohe Strahlenexposition für Untersucher
kleine Kontrastmittelmengen (ca. 30-40 ml)	ventraler Arterienabgang schlecht darstellbar
	craniocaudale Stenosen schlecht einschätzbar

Durch die arterielle digitale Subtraktionsangiographie, bei der ein natives Bild vom Kontrastmittelbild subtrahiert wird, kann die Kontrastmittelmenge auf ca. ein Fünftel reduziert werden. Das ermöglicht den Einsatz feinerer Katheter, wodurch die Komplikationsrate sinkt [74]. Allerdings erbringt die DSA laut Ram in ca. 13 % unzureichende Resultate bei der Beurteilung der Nierenarterien, so dass auf die konventionelle Angiographie zurückgegriffen werden muss [47]. Kleinere Blutungen an der Punktionsstelle ohne operative Konsequenzen oder Transfusionsbedürftigkeit sowie kleine Pseudoaneurysmata treten in ca. 7 %, schwerere Komplikationen (Femoralarterienthrombose, transfusionsbedürftige oder operationspflichtige Blutung, große Pseudoaneurysmata) in ca. 2 % auf [75, 76, 77].

Die arterielle Punktion wird bei der i.v.- DSA durch die intravenöse Gabe des Kontrastmittels umgangen. Dem Vorteil des geringeren Risikos und der ambulanten Durchführbarkeit stehen die schlechtere Bildauflösung, die deutlich höhere Anfälligkeit gegenüber Bewegungsartefakten und die größere Kontrastmittelmenge (40-50 ml) gegenüber. Sensitivität und Spezifität erreichen maximal 90 %, liegen jedoch meist darunter; durchschnittlich 7,4 % der Untersuchungen sind nicht auswertbar [47, 78]. Diese Methode hat sich im allgemeinen nicht zur Diagnostik von Nierenarterienstenosen durchgesetzt [32, 60, 74, 78, 79].

1.2.7 Diagnostikstrategien

Für das diagnostische Vorgehen wurde von Ma et al. 1994 das in Abbildung 2 dargestellte Schema vorgelegt [10].

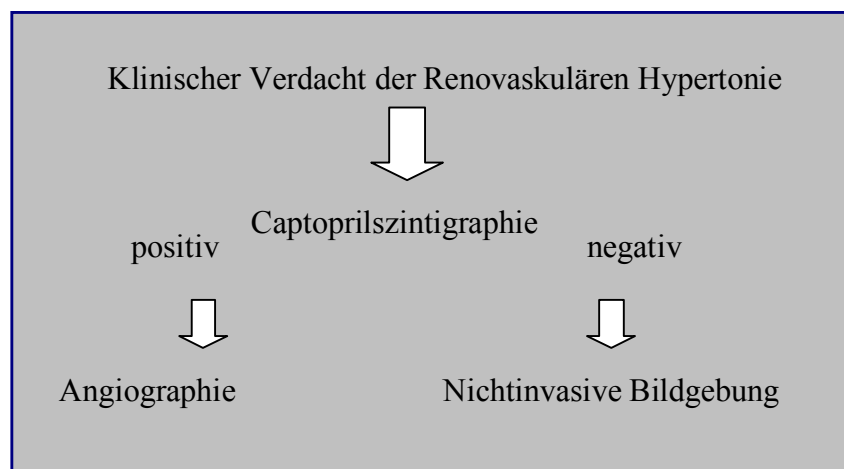


Abbildung 2: Vorgehensweise in der Diagnostik von Nierenarterienstenosen

Die „Amerikanische Arbeitsgruppe für Renovaskuläre Hypertonie“ hatte 1987 anstelle des Captoprilrenogramms die laborchemischen Untersuchungen gesetzt [81]. Damals hatte sich die Captoprilszintigraphie noch nicht etabliert. Seit 1995 empfiehlt diese Arbeitsgruppe auch, die Captoprilszintigraphie, die Dopplersonographie oder die MR- Angiographie bei klinischem Verdacht einzusetzen [31]. Fallen diese negativ aus, sollten andere Ursachen der Hypertonie in Erwägung gezogen werden. Die CT-Angiographie wurde in den Empfehlungen noch nicht berücksichtigt

1.3 CT- Angiographie

Bis zur Einführung der Spiral- Computertomographie Ende der achtziger Jahre beschränkte sich die Computertomographische Gefäßdiagnostik auf die Beurteilung der großen Gefäße. Die Atemverschiebung zwischen nacheinander angefertigten Schnittbildern verhinderte eine ausreichend exakte Darstellung mittelgroßer und kleinerer Arterien im Abdomen.

Zahlreiche Arbeiten wurden zu den Anwendungsmöglichkeiten und den technischen Grundlagen der CT- Angiographie publiziert [102 - 111]. Das Prinzip besteht in der kontinuierlichen Datenakquisition über ein rotierendes Röhren- Detektor- System (auch Scanner oder Gantry), durch das der Patient gleichförmig hindurchgeschoben wird (Abb.3). Daraus resultiert eine spiralförmige Abtastbewegung, wodurch komplette Volumina untersucht werden können. Die Anzahl der Rotationen, die Geschwindigkeit des Tischvorschubs und die Schichtkollimation (Breite der durch den Röntgenstrahl erfassten Schicht) bestimmen die Größe des gescannten Bereiches.

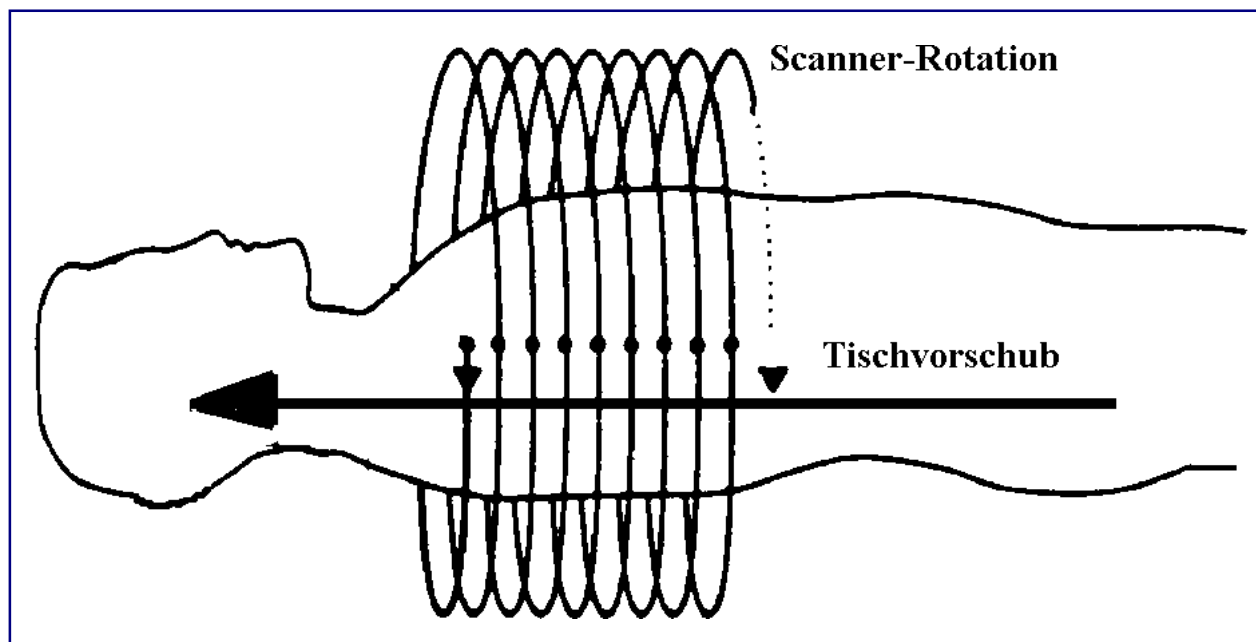


Abbildung 3: Aufnahmeprinzip der Spiral - Computertomographie

Durch lineare Interpolation von jeweils zwei benachbarten Spiralgängen des Scans werden aus dem spiralförmigen Rohdatensatz senkrecht zur Patientenachse liegende Schnittbilder berechnet. Dabei erfolgt die Berechnung entweder anhand der Daten, die eine ganze (360°- Interpolation) oder eine halbe Scannerrotation (180°- Interpolation) vom jeweiligen Punkt entfernt sind. Es entstehen die von der konventionellen CT bekannten axialen Schnittbilder mit frei wählbarem Schichtabstand (Rekonstruktionsintervall).

Zur Anhebung des Kontrastes von Gefäßen wird jodhaltiges Kontrastmittel intravenös injiziert. Die verschiedenen Projektionsverfahren werden unter 2.3.2 erläutert und ermöglichen zwei- und dreidimensionale Gefäßdarstellungen.

Die in Tabelle 14 wiedergegebenen Studien demonstrieren die hohe diagnostische Wertigkeit der CT-Angiographie bei der Diagnostik von Nierenarterienstenosen. Alle Angaben beziehen sich auf relevante Stenosen (>50%) von Nierenhauptarterien und akzessorischen Gefäßen. Die Studie von Rubin et al. fließt wegen starker Unterschiede bei Scanprotokoll, Bildbearbeitung und Befundung nicht mit in die Mittelwertberechnung ein.

Tabelle 14: Diagnostische Wertigkeit der CTA bei der Diagnostik von Nierenarterienstenosen in klinischen Studien. Die Treffsicherheit gibt die prozentuale Übereinstimmung des CT-angiographischen Stenosegrades mit dem angiographischen an.

Autor	Sensitivität (%)	Spezifität (%)	Treffsicherheit (%)	Patienten	Prävalenz (%)
Olbricht [82]	98	94	85	62	57
Kaatee [83]	96	96	96	71	49
Kim [84]	90	97	93	50	29
Beregi [85]	88	98	93	49	12
Wittenberg [86]	96	99	98	82	17
(Rubin [87]	92	83	80	31	45)
Mittelwerte	93,6	96,8	93	Σ 314	32,8

Selbst bei einer wünschenswerten Prävalenz von 20 % im zu untersuchenden Krankengut lassen sich aus diesen Daten ein positiver und negativer prädiktiver Wert von 88,0 bzw. 98,4 % berechnen, so dass Kim und Wittenberg [84, 86] die CTA der Nierenarterien jedes Risikopatienten befürworten. Alle Studien bestätigen eine große Übereinstimmung des CT-angiographischen mit dem angiographischen Stenosegrad.

1.4 Zielstellung der Arbeit

Die Spiral- CT- Angiographie als rein anatomischer Test für die Diagnostik einer Nierenarterienstenose hat in mehreren Studien eine exzellente Wiedergabe sowohl der Nierenhauptarterien als auch der akzessorischen Gefäße und ihrer Veränderungen geliefert. Sogar der Grad der Stenose konnte mit hoher Genauigkeit beurteilt werden [82, 83]. Jedoch ist im Abschnitt 1.2 auch deutlich gemacht worden, dass bereits eine Vielzahl aussagekräftigerdiagnostischer Möglichkeiten für renovaskuläre Erkrankungen zur Verfügung steht. Hieraus leiten sich Fragen nach den Vorteilen der CT-Angiographie, ihrer Notwendigkeit und ihrem rationalen Einsatz ab.

Die Beantwortung dieser Fragen hängt entscheidend von der diagnostischen Wertigkeit der Untersuchungen ab. Diese variiert bei radiologischen Methoden unter anderem in Abhängigkeit von Aufnahmegerät und –methode, Nachbearbeitung der Bilddaten und Erfahrung des befundenden Radiologen. Gerade bei einer relativ neuen Methode, für die noch kein standardisierter Untersuchungs- und Bearbeitungsmodus besteht, ist es somit wichtig, die Qualität der eigenen Untersuchungen zu überprüfen. Daraus ergaben sich für diese Arbeit folgende Ziele:

1. Wie hoch liegen Sensitivität und Spezifität unserer CT-angiographischen Untersuchungen gemessen am Goldstandard Angiographie?
2. Welche Rekonstruktionen und Projektionen sind am aussagekräftigsten?
3. Lassen sich Aussagen zu Stellenwert und Indikation der Methode ableiten?
4. Wodurch lassen sich Untersuchung, Bilderstellung und –befundung optimieren?

2 MATERIAL UND METHODEN

2.1 Patienten

Folgende Einschlusskriterien mussten für die Aufnahme in die Studie erfüllt sein:

- Das Vorliegen zweifelsfrei beurteilbarer Nierenangiographieaufnahmen
- Die Durchführung einer computertomographischen Nierenangiographie an unserem Institut in einem Abstand von höchstens 3 Monaten vor oder nach der konventionellen Angiographie
- Sicherer Ausschluss einer Manipulation an den untersuchten Gefäßen zwischen beiden Untersuchungen
- Das Vorliegen von klinischen Daten über den Patienten

Diese Voraussetzungen erfüllten im Zeitraum von Februar 1995 bis Februar 1997 insgesamt 23 Patienten. Der Abstand zwischen CTA und Angiographie betrug 2 Stunden bis 65 Tage (Median: 4 Tage). Das Alter der 16 Männer und 7 Frauen lag zwischen 18 und 80 Jahren (Median 56 Jahre). Bei 22 dieser Personen war eine arterielle Hypertonie bekannt, bei zehn konnte mindestens eine, bei sechs konnten sogar zwei weitere, die Prävalenz einer NAST erhöhende Erkrankungen wie eine pAVK, koronare Herzkrankheit, Diabetes mellitus oder eine Niereninsuffizienz eruiert werden. Zehn Patienten hatten sich schon früher einer Angiographie oder einer PTA der Nierenarterien unterzogen. In der Studie enthalten sind auch drei Patienten mit Transplantatnieren, bei denen es zu einer Verschlechterung der Nierenfunktion gekommen war. Vor der invasiven Diagnostik war bei 13 Patienten eine 24-h-Blutdruckmessung, bei neun eine Duplexsonographie und bei vier eine Nierenfunktionsszintigraphie durchgeführt worden.

2.2 Angiographie

Zweiundzwanzig der in dieser Arbeit ausgewerteten Nierenangiographien wurden im Radiologischen Institut der Charité durchgeführt (Abb. 4). Hiervon fanden zwei Untersuchungen im Rahmen einer Koronarangiographie an einem Herzkatheterarbeitsplatz statt. Bei den anderen wurden zumeist nach folgendem Ablaufschema verfahren:

1. Gabe von 1 Ampulle Buscopan i.v., Lokalanästhesie der Einstichstelle inguinal.
2. Einbringen einer 5-F-Schleuse in Seldinger-technik nach Punktion einer A. femoralis.
3. Über diese Vorschieben eines 5-F-Pigtail-Katheters und Übersichtsaortographie (ca. 20ml Kontrastmittel).
4. Sondierung der Nierenarterien mit einem 5-F-Kobra oder -Sidewinderkatheters und Rückzug bis an das Arterienostium.
5. Bildserie unter Gabe von ca. 10ml Kontrastmittel



Abbildung 4: Untersuchung an einem Angiographie - Arbeitsplatz

Anhand der Übersichtsaortographie wurden die optimalen Aufnahmewinkel für die Darstellung der Nierenarterienabgänge festgelegt, welche dann durch Drehung des C- Bogens eingestellt wurden. In einigen Fällen erfolgte keine selektive Darstellung der Nierenarterien, da diese sich zweifelsfrei anhand der Übersichtsaortographie beurteilen ließen. Es liegen keine Hinweise auf Komplikationen der Untersuchungen vor.

2.3 CT- Angiographie

2.3.1 Untersuchung

Alle CT- Angiographien wurden mit dem Philips Tomoscan AV Spiral- CT- Gerät durchgeführt (Philips Medizinsysteme, Best, Niederlande) (Abb. 5). Hierbei handelt es sich um einen CT- Scanner der dritten Generation mit rotierender Röntgenröhre und rotierenden Detektoren, wie in Abbildung 6 verdeutlicht. Die Untersuchungen begannen mit einem Niedrigdosis- Nativ- Scan, welcher dann zur Festlegung des Untersuchungsbereiches der CTA benutzt wurde. In Tabelle 15 sind die verwendeten Parameter der Scans zusammengefasst.

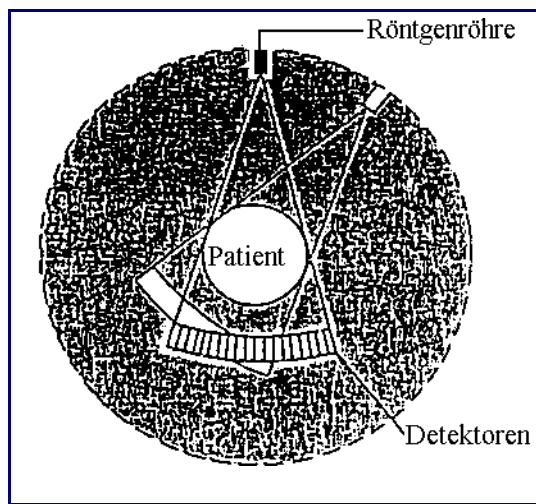


Abbildung 6: Prinzip der CT mit rotierender Röntgenröhre und rotierenden Detektoren



Abbildung 5: Untersuchung am Spiral- CT

Tabelle 15: Untersuchungsparameter für die Spiral- CT- Angiographie der Nierenarterien in dieser Studie

Scan	Röhren- spannung (kV)	Röhren- stromstärke (mA)	Schicht- dicke (mm)	Tisch- vorschub (mm/s)	Rekonstruktions- inter- vall (mm)
Nativ	120	50	7	7	7
mit Kontrastmittel	120	150 bis 250	3	3	1

Bei adipösen Patienten wurde eine größere Stromstärke bis zu 250 mA gewählt, um das Bildrauschen zu reduzieren. Schichtdicke, Tischvorschub und Rekonstruktionsintervall waren bei allen Untersuchungen gleich. Die Kontrastmittelanwendung erfolgte immer nach folgendem Schema:

- Start der Kontrastmittelpumpe 25 s vor Anfang der Röntgenuntersuchung
- Flussrate = 3 ml/s

Die Verzögerung des Scans wurde nicht anhand eines Testbolus individuell festgelegt. Die Kontrastmittelmenge lag zwischen 60 und 160 ml (Mittelwert 93 ml) Ultravist 300 (Schering, Berlin, Deutschland), in zwei Fällen Visapaque.

2.3.2 Bilderstellung

Zur weiteren Bearbeitung der axialen Schnittbilder, welche durch den Rechner der Aufnahmekonsole berechnet werden, wurden diese auf eine separate Workstation übertragen. Dort ermöglichte eine kommerziell erhältliche Software (Philips Easy Vision, Release 2.1, Philips Medizin Systeme, Niederlande) in der vorliegenden Version folgende Rekonstruktionen (= Projektionen), welche sämtlich genutzt wurden:

- **Multiplanare Reformationen (Curved Multiplanar Reformatting = cMPR)**

Mit dieser Methode können zweidimensionale Rekonstruktionen der interessierenden Region aus axialer (im Weiteren cMPRa), coronaler (cMPRc) oder sagittaler Sicht erstellt werden. Der Zusatz „Curved“ bezeichnet die von uns stets genutzte Möglichkeit, in den axialen Schnittbildern einen Pfad z.B. in die Nierenarterien einzuzuzeichnen. Diese meist geschlängelte Linie wird bei der Rekonstruktion in eine Gerade umgewandelt, wodurch eine Begradigung des Gefäßverlaufes in der gewählten Ebene erfolgt, ähnlich dem Anspannen eines Fadens. Somit konnten z.B. auch stark deszendierende Nierenarterien in einem einzigen axialen Schnittbild dargestellt werden. Der Pfad muss möglichst exakt in die Mitte der Arterie gelegt werden. Bei stark gewundenem Gefäßverlauf besteht die Gefahr von Artefakten durch die Begradigung.

- **Maximum- Intensitäts- Projektion (MIP)**

Auf diesen Rekonstruktionen wird jeweils nur der Punkt abgebildet, der beim Schnitt durch ein Volumen den maximalen CT- Wert besitzt. Werden nun entsprechend dem Rekonstruktionsintervall viele Schnitte durch ein Volumen gelegt, ergibt sich ein zweidimensionales Projektionsbild der röntgendichtesten Strukturen im Volumen. Dazu zählen bei der CT-Angiographie in erster Linie die kontrastierten Gefäße sowie Knochenanteile. Letztere wurden bei der Bearbeitung unserer Bilder anhand der axialen Schnittbilder regelmäßig entfernt. Mit der Maximum- Intensitäts- Projektion als dreidimensionaler Rekonstruktionsmethode wurden angiographieähnliche Bilder aus beliebigen Blickwinkeln erstellt.

- **3D-Oberflächendarstellung (Surface Shaded Display SSD)**

Hierbei handelt es sich ebenfalls um dreidimensionale Rekonstruktionen, bei denen aber der aus Sicht des Betrachters erste Punkt einer Schnittebene dargestellt wird, der einen beliebig gewählten Dichtewert überschreitet (unterer Schwellwert). Alle vom Betrachter aus hinter diesem Punkt gelegenen Pixel, auch solche mit höherer Dichte, bleiben verborgen und können eventuell aus einer anderen Blickrichtung betrachtet werden.

Die Erstellung dieser Rekonstruktionen begannen wir mit dem Entfernen knöcherner Strukturen anhand der axialen Schnittbilder. Hierzu dient auch der zweite Schritt, nämlich das Abgesenken des oberen Darstellungsschwellwertes, wodurch zum Beispiel Knochenanteile mit sehr hohen Dichtewerten aus der Darstellung eliminiert werden können. Da die Dichtewerte von Knochen und gut kontrastierten Gefäßen eng beieinander liegen, ist diese Möglichkeit nur eingeschränkt nutzbar.

Als dritter Arbeitsschritt wurde eine Markierung (seed point) in das axiale Schnittbild der Aorta gelegt, woraufhin das Programm alle Strukturen aus dem Bild entfernte, die keinen direkten Anschluss an die Aorta hatten.

Generell hing es stark von den gewählten Schwellwerten ab, ob das Programm einen Anschluss erkannte oder nicht. War der untere Schwellwert zu hoch gewählt, brach die Darstellung eines Gefäßes an einer Stenose oft ab. Dann musste erneut beim zweiten Arbeitsschritt begonnen werden, manchmal mehrmals. Dadurch erwies sich diese Rekonstruktion in einigen Fällen als sehr zeitaufwendig.

- **Axiale Schnittbilder (AS)**

Die axialen Schnittbilder wurden im Rechner der CT- Konsole erstellt und bedurften keiner umfangreichen Nachbearbeitung. Sie wurden aber auf der Workstation zum Teil bezüglich Bildausschnitt, Helligkeit und Kontrast verändert. Außerdem wurde die Anzahl der ausgedruckten Bilder auf die informativen Abbildungen begrenzt.

Die folgenden Rekonstruktionen wurden für die Befundung jedes Falles erstellt und auf Röntgenfilmen der Größe 35x42cm ausgedruckt:

- 20 axiale Schnittbilder
- 8 Multiplanare Rekonstruktionsbilder aus axialer Sicht (cMPRa)
- 8 Multiplanare Rekonstruktionsbilder aus coronaler Sicht (cMPRc)
- 6 Maximum - Intensitäts - Projektionen (MIP) aus verschiedenen Blickwinkeln
- 12 3D - Oberflächenrekonstruktionsbilder (SSD) aus verschiedenen Blickwinkeln

Alle Filme wurden mit randomisierten Zahlen als einzigem Identifikationsmerkmal versehen, deren Zuordnungsschlüssel nur dem Doktoranden bekannt war. Sämtliche Rekonstruktionen wurden allein vom Doktoranden erstellt. Die Bilderstellung bis zum Ausdruck aller oben genannten Röntgenfilme nahm pro Patient durchschnittlich 50 Minuten in Anspruch, wobei eine Verkürzung der Dauer von 70 auf 30 Minuten im Sinne einer Lernkurve zu verzeichnen war.

2.4 Befunderstellung

Im August 1998 wurden alle Bilder beurteilt. Keiner der Radiologen, welche die Bilder beurteilt haben (im Weiteren „Befunder“), hat an der Erstellung der endgültigen Bilder mitgewirkt. Die CTA- Bilder wurden von einem erfahrenen Radiologen (Befunder A) beurteilt, die Angiographiebilder von einem weiteren (Befunder B). Keiner der beiden hatte Kenntnis von den Bildern oder Befunden des anderen.

Erste CTA- Befundungssitzung (1. Reading): Es wurden alle Bilder nach Rekonstruktionsart, (nicht nach Patienten) geordnet hinsichtlich einer Nierenarterienstenose beurteilt. Dabei kam folgende Einteilung zur Anwendung:

Tabelle 16: Einteilung zur Definition des Stenosegrades in dieser Studie

Stenosegrad	Querschnittsminderung
keine	0 %
I	< 50 %
II	51 bis 75 %
III	76 bis 99%
IV	Okklusion

Zusätzlich musste die Lokalisation (Proximales/mittleres/distales Drittel) angegeben werden. Die Bewertung der Sicherheit des Befundes erfolgte anhand einer Skala mit der Gliederung in:

- Sicherer Befund
- Höchstwahrscheinlicher Befund
- Wahrscheinlicher Befund
- Eher unsicherer Befund
- Unsicherer Befund.

Zweite CTA- Befundungssitzung (2. Reading): Danach fand das zweite Reading statt. Dem Befunder standen dabei jeweils alle Rekonstruktionen eines Falles gleichzeitig zur Beurteilung zur Verfügung. Der Radiologe vermerkte, welche Rekonstruktionen er tatsächlich verwendet hatte, um eine bestmögliche Aussage zu treffen. Auch hierbei wurden Lokalisation der Stenose und Sicherheit des Befundes angegeben.

Bei der **Angiographie- Befundungssitzung** wurden die Angiographiebilder der 23 Patienten von Befunder B nach derselben Einteilung wie bei der CTA und unter Angabe von Lokalisation und Sicherheit hinsichtlich einer Nierenarterienstenose befundet.

2.5 Auswertung der Befunde

Die so gewonnenen Befunddaten von Angiographie und CT-Angiographie wurden vom Doktoranden erfasst und miteinander verglichen. Dabei wurde der CT- angiographische Stenosegrad jeder Nierenarterie dem angiographischen gegenübergestellt, und zwar sowohl für die Ergebnisse des ersten Readings (nach Projektionen geordnet) als auch für die des zweiten (nach Patienten geordnet). So konnten für jede Projektionsmethode die im Kapitel „Ergebnisse“ abgebildeten Tabellen erstellt werden, welche die Anzahl korrekter und falscher Gradeinschätzungen durch die CTA darlegen.

Die rechnerische Zusammenfassung der Stenosegrade 0 und 1 zur Gruppe „keine relevante Stenose“ und der Stenosegrade 2, 3 und 4 zur Gruppe „relevante Stenose“ (im Weiteren „Zwei- Stufen- Grading“) ermöglichte die Bestimmung von Sensitivität und Spezifität der CTA bezüglich der Unterscheidung dieser beiden Zustände (siehe Abschnitt 2.6).

Für die Analyse der Daten wurden die folgenden Parameter sowohl für die Befundung der einzelnen Projektionen (1. Reading) als auch für die Befundung anhand aller Rekonstruktionen eines Falles (2. Reading) bestimmt und gesondert dargestellt, um den direkten Vergleich der diagnostischen Wertigkeit der einzelnen Projektionen und die Einschätzung der diagnostischen Wertigkeit der CTA insgesamt zu ermöglichen:

- Sensitivität und Spezifität
- Anzahl der CTA - Befunde mit Über- oder Unterschätzung des Stenosegrades
- Anzahl der mittels CTA nicht befundeten Arterien
- Kappa– Wert (Erläuterung unter 2.6)

Anhand der axialen Schnittbilder wurden außerdem **arterielle und venöse Kontrastierung**, also die bei der Untersuchung im proximalen Drittel der Gefäße erreichten CT - Dichtewerte, gemessen. Die Mittelwerte sowie die maximalen und minimalen Werte der Hounsfield– Einheiten (HE) von Aorta, Nierenhauptarterien und Nierenvenen wurden berechnet.

Die Analyse der Daten, insbesondere der diskrepanten Befunde, wurde vom Doktoranden anhand aller Bilder und aller Befunde, die vor und innerhalb der Studie zu dem Patienten erhoben wurden, vorgenommen.

2.6 Statistische Methodik

Zur Beschreibung der Güte einer radiologischen Untersuchung haben sich in erster Linie die Parameter Sensitivität, Spezifität, und daraus abgeleitet positiver und negativer Vorhersagewert etabliert. Zusätzlich eignet sich der kappa- Wert zur Angabe der Übereinstimmung von kategorisierten Meßwerten. Mit Ausnahme der Formeln für Sensitivität und Spezifität wurden alle Formeln und Definitionen den Arbeiten von Fletcher [88], Altma [89] und Richter [95] entnommen.

Für die Berechnung von Sensitivität und Spezifität mussten die gebräuchlichen Formeln aus folgendem Grund verändert werden: entsprechend der Tabelle 17 kann das Ergebnis der CT-Angiographie vier verschiedenen Gruppen zugeordnet werden. Außerdem kann es vorkommen, dass die Untersuchung zu keinem Ergebnis führt, und sowohl stenosierte als auch nicht verengte Arterien im Befund nicht genannt werden. Diese zwei Gruppen sind bei der Berechnung der oben genannten Parameter gesondert zu betrachten und werden im Folgenden mit (E) und (F) bezeichnet.

Tabelle 17: Modifizierte Vierfeldertabelle

		CTA- Befund bezüglich Stenose (oder Stenosegrad)		
		positiv	negativ	nicht beurteilt
Angiographie- Befund bezüglich Stenose (oder Stenosegrad)	Vorhanden	richtig positiv (A)	falsch negativ (B)	(E)
	nicht vorhanden	falsch positiv (C)	richtig negativ (D)	(F)

Da bei nicht befundeter, stenosierter Arterie der Test hinsichtlich der klinischen Konsequenzen negativ ausfällt, müssen diese Befunde zu den falsch negativen (B) gerechnet werden. Die Formel, nach der die Sensitivität in dieser Arbeit berechnet wurde, lautet also

$$Se = \frac{A}{(A + B + E)}$$

Bei der Berechnung der Spezifität entsteht ein statistisches Problem, da das Übersehen oder Nichtbefunden von Arterien weder negative noch positive Befunde liefert. In dieser Studie wurden drei nicht verengte Arterien nicht befundet. Das ergibt auch bezüglich der klinischen Konsequenzen eigentlich keinen falsch positiven Befund. Da aber die dementsprechend lautende Gleichung

$$\text{Spezifität} = \frac{(D + F)}{(C + D + F)}$$

eine höhere Spezifität vortäuscht und statistisch gesehen kein korrekter Test bezüglich der nicht befundenen Gefäße stattgefunden hat, wurde die Gleichung wie folgt geändert:

$$\text{Spezifität} = \frac{D}{(C + D + F)}$$

Dadurch ergibt sich ein etwas niedrigerer Wert. Es wird jedoch eine fälschlicherweise erhöhte Spezifität der Methode vermieden.

Mit dem **kappa- Wert** wird der Grad der Übereinstimmung zwischen zwei kategorisierten Messwertreihen angegeben [89]. Hierfür sind Korrelationskoeffizienten und der oft gebrauchte χ^2 - Test nicht geeignet. Die Berechnung von kappa basiert auf der Anzahl der übereinstimmenden Befunde, wobei die Möglichkeit, dass ein bestimmter Prozentsatz der Übereinstimmungen auch zufällig bestehen kann, berücksichtigt wird. Die aus unseren Ergebnissen resultierenden kappa- Werte können jedoch nicht mit denen anderer Studien verglichen werden, wenn dort die Patientenzahlen pro Kategorie von denen hier abweichen. Folgende Formeln liegen der Berechnung zugrunde:

$$\text{kappa} = \frac{p_o - p_e}{1 - p_e}$$

$$p_o = \sum_{i=1}^g f_{ii} / n$$

$$p_e = \sum_{i=1}^g r_i c_i / n^2$$

Es bedeuten:

p_o	beobachtete Häufigkeit	g	Anzahl der Kategorien
p_e	zu erwartende Häufigkeit	f_{ii}	Anzahl der Übereinstimmungen für Kategorie i
n	Anzahl der Untersuchungen	r_i und c_i	Anzahl der Resultate beider Untersuchungen der Kategorie i

Kappa kann Werte zwischen 0 und 1 annehmen, die wie in Tabelle 18 angegeben zu interpretieren sind.

Tabelle 18: Aussage des kappa - Wertes

kappa	Übereinstimmung
< 0,20	ungenügend
0,21 - 0,40	genügend
0,41 - 0,60	befriedigend
0,61 - 0,80	gut
0,81 - 1,00	sehr gut

3 ERGEBNISSE

3.1 Die Befunde der Angiographie

Die Angiographien von 44 Nierenarterien bei 23 Patienten standen zur Auswertung zur Verfügung. In dieser Summe sind sieben Polararterien und drei Transplantatnierenarterien enthalten. Okklusionen waren nicht vorhanden. Die angiographische Einschätzung des Stenosegrades durch Befunder B ist aus Tabelle 19 ersichtlich.

Tabelle 19: Häufigkeit der angiographisch nachgewiesenen Stenosegrade

Stenosegrad	Anzahl
keine	23
I	7
II	1
III	13
IV	0

Die Prävalenz von Nierenarterienstenosen jeglichen Grades betrug somit 47,7 % (31,8 % relevante Stenosen) der untersuchten Gefäße. Zwölf der untersuchten 23 Patienten (52,2 %) wiesen mindestens eine Stenose auf.

3.2 Die Befunde der CT – Angiographie

3.2.1 Verwendung der einzelnen Projektionen (1. Reading)

3.2.1.1 3D- Oberflächenrekonstruktion (SSD)

Bei Verwendung der SSD- Bilder wurden 25 Arterien (56,8%) korrekt befundet und insgesamt sechs nicht beurteilt (Tabelle 20). Von den letzten waren fünf aufgrund schlechter Bildqualität und eine wegen Venenüberlagerung nicht klassifiziert worden.

Tabelle 20: Stenosegradbezogene Befunde der 3D- Oberflächenrekonstruktion

	Beurteilung 3D-Oberflächenrekonstruktion					
Stenosegrad laut Referenz	keine	Grad 1	Grad 2	Grad 3	nicht befundet	Gesamtzahl
keine	20	1	0	0	2	23
Grad 1	6	0	1	0	0	7
Grad 2	0	0	0	0	1	1
Grad 3	2	2	1	5	3	13
Gesamtzahl	28	3	2	5	6	44

Beim Zwei- Stufen- Grading (relevante und nicht relevante Stenosen), ergaben sich eine Sensitivität und Spezifität der SSD von 42,9 % bzw. 90,0 % (Tab. 21).

Tabelle 21: Befunde der 3D- Oberflächenrekonstruktion bezüglich relevanter und nicht relevanter Stenosen

	Beurteilung 3D- Oberflächenrekonstruktion			
Stenosegrad laut Referenz	keine relevante Stenose	relevante Stenose	nicht befundet	Gesamtzahl
keine relevante Stenose	27	1	2	30
Relevante Stenose	4	6	4	14
Gesamtzahl	31	7	6	44

3.2.1.2 Maximum- Intensitäts- Projektion (MIP)

Achtundzwanzig Nierenarterien (63,6%) wurden mit Hilfe der MIP richtig diagnostiziert. Eine Polarterie bei Patient 22 kam aufgrund sehr schlechter Bildqualität nicht zur Darstellung. Eine zweitgradig stenosierte Arterie wurde bei demselben Fall als vollständig verschlossen eingeschätzt (Tab. 22).

Tabelle 22: Stenosegradbezogene Befunde der MIP

	Beurteilung Maximum- Intensitäts- Projektion						
Stenosegrad laut Referenz	keine	Grad 1	Grad 2	Grad 3	Grad 4	nicht befundet	Gesamtzahl
Keine	20	2	0	0	0	1	23
Grad 1	3	4	0	0	0	0	7
Grad 2	0	0	0	0	1	0	1
Grad 3	0	4	5	4	0	0	13
Gesamtzahl	23	10	5	4	1	1	44

Tabelle 23: Befunde der MIP bezüglich relevanter und nicht relevanter Stenosen

	Beurteilung Maximum- Intensitäts- Projektion			
Stenosegrad laut Referenz	keine relevante Stenose	relevante Stenose	nicht befundet	Gesamtzahl
keine relevante Stenose	29	0	1	30
Relevante Stenose	4	10	0	14
Gesamtzahl	33	10	1	44

Bei der Erkennung von relevanten Stenosen erreichte die MIP eine Sensitivität: 71,4 % und eine Spezifität von 96,7 % (Tab.23).

3.2.1.3 Axiale Multiplanare Reformationen (cMPRa)

Anhand der cMPRa wurden 24 Nierenarterien (55 %) korrekt, 12 falsch und acht nicht befundet. Alle sieben Stenosen vom Grad 1 wurden falsch oder nicht beurteilt. Eine zweitgradig eingengte Arterie bei Patient 22 war laut CTA- Befund komplett verschlossen (Tab. 24).

Tabelle 24: Stenosegradbezogene Befunde der cMPRa

	Beurteilung axiale multiplanare Reformationen					
Stenosegrad laut Referenz	keine	Grad 2	Grad 3	Grad 4	nicht befundet	Gesamtzahl
Keine	18	0	0	0	5	23
Grad 1	3	3	0	0	1	7
Grad 2	0	0	0	1	0	1
Grad 3	1	4	6	0	2	13
Gesamtzahl	22	7	6	1	8	44

Tabelle 25: Befunde der cMPRa bezüglich relevanter und nicht relevanter Stenosen

	Beurteilung axiale multiplanare Reformationen			
Stenosegrad laut Referenz	keine relevante Stenose	relevante Stenose	nicht befundet	Gesamtzahl
keine relevante Stenose	21	3	6	30
Relevante Stenose	1	11	2	14
Gesamtzahl	22	14	8	44

Bei der Erkennung von relevanten Stenosen erreichte die cMPRa eine Sensitivität: 78,6 % und eine Spezifität von 70 % (Tab. 25).

3.2.1.4 Coronale Multiplanare Reformationen (cMPRc)

25 mit den Angiographiebefunden übereinstimmende Aussagen (56,8%) erbrachte das cMPRc, wobei zwei Arterien unbefundet blieben. Bei Patient 22 wurde, wie bei der MIP und der cMPRa, die Stenose zweiten Grades als Okklusion eingeschätzt (Tab 26).

Tabelle 26: Stenosegradbezogene Befunde der cMPRc

	Beurteilung coronale multiplanare Reformationen						
	keine	Grad 1	Grad 2	Grad 3	Grad 4	nicht befundet	Gesamtzahl
keine	18	2	1	0	0	2	23
Grad 1	1	2	3	1	0	0	7
Grad 2	0	0	0	0	1	0	1
Grad 3	0	5	3	5	0	0	13
Gesamtzahl	19	9	7	6	1	2	44

Tabelle 27: Befunde der cMPRc bezüglich relevanter und nicht relevanter Stenosen

	Beurteilung coronale multiplanare Reformationen			
Stenosegrad laut Referenz	keine relevante Stenose	relevante Stenose	nicht befundet	Gesamtzahl
keine relevante Stenose	23	5	2	30
relevante Stenose	5	9	0	14
Gesamtzahl	28	14	2	44

Bei der Erkennung von relevanten Stenosen erreichte die cMPRc eine Sensitivität: 64,3 % und eine Spezifität von 76,7 % (Tab. 27).

3.2.1.5 Axiale Schichten (AS)

Die Beurteilung der axialen Schnittbilder ergab 29 richtige Befunde (65,9%), nur eine Arterie (von Patient 22) wurde nicht befundet (Tab. 28).

Tabelle 28: Stenosegradbezogene Befunde der axialen Schnittbilder

	Beurteilung Axiale Schnittbilder					
Stenosegrad laut Referenz	keine	Grad 1	Grad 2	Grad 3	nicht befundet	Gesamtzahl
keine	20	2	0	0	1	23
Grad 1	2	3	2	0	0	7
Grad 2	0	0	0	1	0	1
Grad 3	2	1	4	6	0	13
Gesamtzahl	24	6	6	7	1	44

Tabelle 29: Befunde der axialen Schnittbilder bezüglich relevanter und nicht relevanter Stenosen

	Beurteilung Axiale Schnittbilder			
Stenosegrad laut Referenz	keine relevante Stenose	relevante Stenose	nicht befundet	Gesamtzahl
keine relevante Stenose	27	2	1	30
relevante Stenose	3	11	0	14
Gesamtzahl	30	13	1	44

Bei der Erkennung von relevanten Stenosen erreichten die axialen Schichten eine Sensitivität von 78,6 % und eine Spezifität von 90,0 % (Tab. 29).

3.2.2 Verwendung aller Projektionen (2. Reading)

Zweihundvierzig der vierundvierzig angiographisch gesicherten Nierenarterien wurden unter Zuhilfenahme von mehreren Projektionen eines Falles mittels CT-Angiographie erkannt. Zwei nicht stenosierte Arterien wurden nicht befundet. Der Stenosegrad stimmte bei 29 Arterien (64,4 %) mit dem in der Angiographie gefundenen überein.

Die CTA- Befunde sind aus Tabelle 30 ersichtlich. Auf die abweichenden oder fehlenden Befunde wird in den Abschnitten 3. 3 und 3. 4 näher eingegangen.

Tabelle 30: Stenosegradbezogene Befunde der CT - Angiographie

	Beurteilung CTA					
Stenosegrad laut Referenz	keine	Grad 1	Grad 2	Grad 3	nicht befundet	Gesamtzahl
keine	20	1	0	0	2	23
Grad 1	4	1	2	0	0	7
Grad 2	0	0	0	1	0	1
Grad 3	0	1	4	8	0	13
Gesamtzahl	24	3	6	9	2	44

Bei Anwendung des Zwei- Stufen- Gratings (relevante und nicht relevante Stenosen) ergeben sich die in Tabelle 31 dargestellten Befunde.

Tabelle 31: Befunde der CTA bezüglich relevanter und nicht relevanter Stenosen

	Beurteilung CTA			
Stenosegrad laut Referenz	keine relevante Stenose	relevante Stenose	nicht befundet	Gesamtzahl
Keine relevante Stenose	26	2	2	30
relevante Stenose	1	13	0	14
Gesamtzahl	28	14	2	44

Sensitivität und Spezifität der CTA für die Erkennung relevanter Nierenarterienstenosen betragen für die Untersuchungen in dieser Studie 92,9% bzw. 86,7 %, der positive und negative Vorhersagewert bei einer Prävalenz von 31,8 % relevant stenosierter Arterien 76,5 % bzw. 96,3 %.

Die Untersuchungsdauer betrug hinsichtlich der Nutzung des CT – Gerätes durchschnittlich ca. sieben Minuten, die Patientenanwesenheit dauerte ca. 15 Minuten, die der Röntgenassistentin ca. 20 Minuten. Ein Radiologe wurde zum Anschluss der Kontrastmittelinjektionspumpe benötigt.

Zur Befundung wurden außer in drei Fällen immer zwei Projektionen herangezogen. Die häufigste Verwendung fanden die Kombinationen von cMPRa und cMPRc sowie von MIP und cMPRc (Tabelle 32).

Tabelle 32: Zur Befundung herangezogene Rekonstruktionen

Projektionen:	cMPRa + cMPRc	MIP + cMPRc	MIP + cMPRa	cMPRc	SSD + MIP
Verwendung bei:	19 Arterien	14 Arterien	5 Arterien	3 Arterien	2 Arterien

3.2.3 Sensitivität und Spezifität aller Untersuchungen im Vergleich

Die höchste Sensitivität wurde bei Zuhilfenahme mehrerer Rekonstruktionen in der zweiten Befundungssitzung erzielt, während die Spezifität hier niedriger lag als bei alleiniger Beurteilung von MIP, axialen Schichten und 3D-Oberflächenrekonstruktion (Abbildung 7).

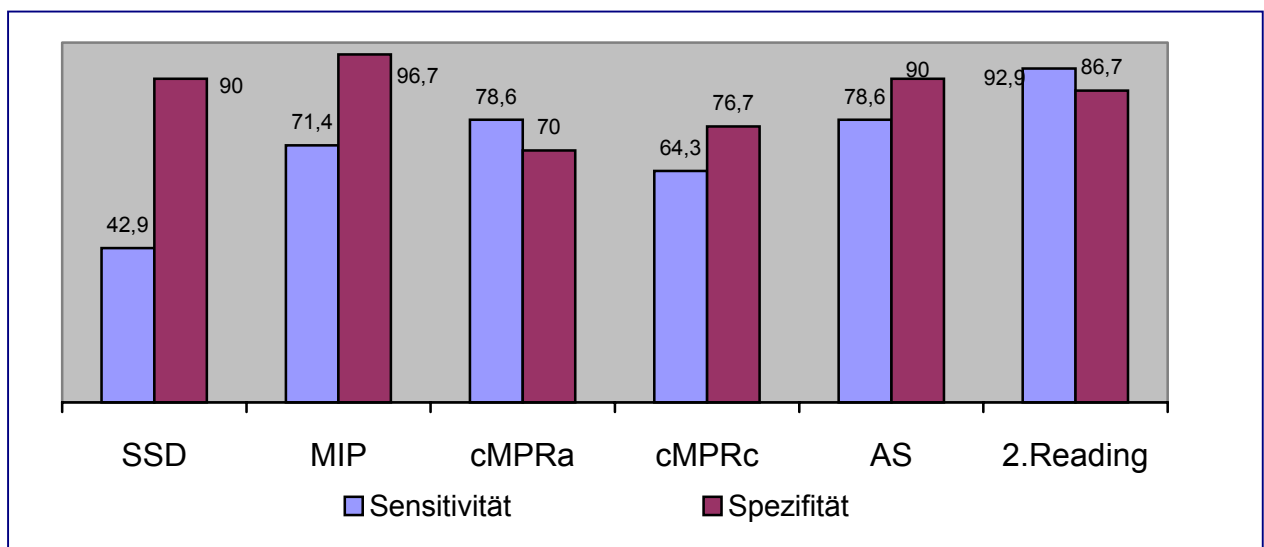


Abbildung 7: Sensitivität und Spezifität der CTA - Untersuchungen

3.2.4 Über- und Unterschätzung des Stenosegrades

Abbildung 8 stellt die Anzahl der diskrepanten Befunde, die bei Anwendung der fünfteiligen Stenosegradskala auftraten, dar. Es kam zu deutlich mehr Unter- als Überschätzungen.

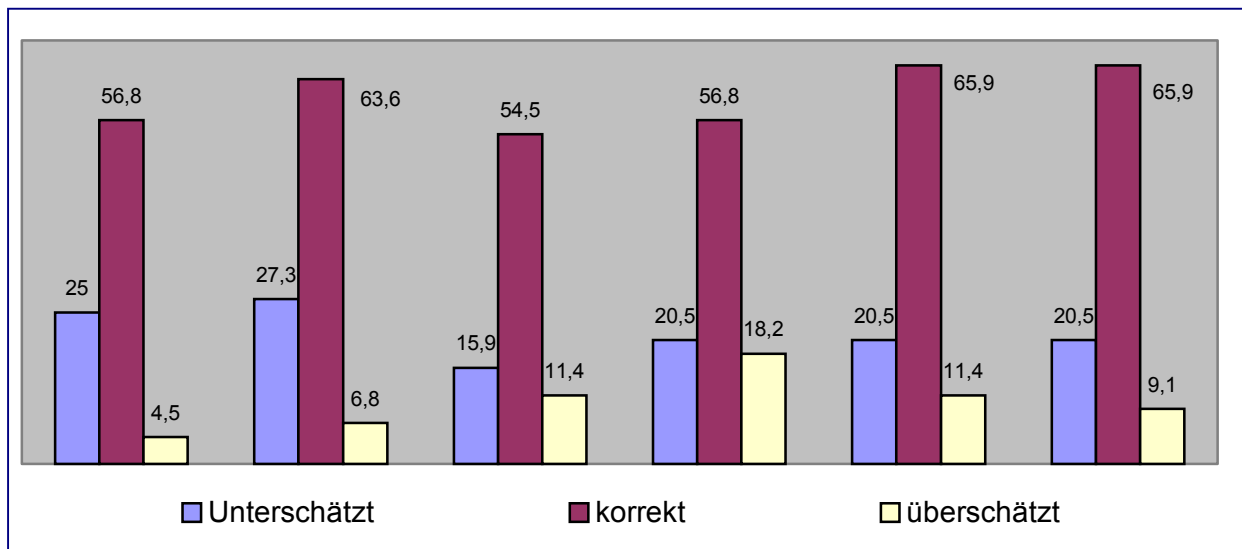


Abbildung 8: Prozentuale Angabe der den Stenosegrad über- oder unterschätzenden CTA-Befunde

3.2.5 Anzahl der nicht befundeten Arterien

Mehrere Arterien konnten anhand der CTA – Bilder nicht beurteilt werden, wie das Abbildung 9 verdeutlicht. Die zwei fehlenden Befunde der zweiten Befundungssitzung werden in Abschnitt 3.4 geschildert und in Abschnitt 4.2.2 diskutiert.

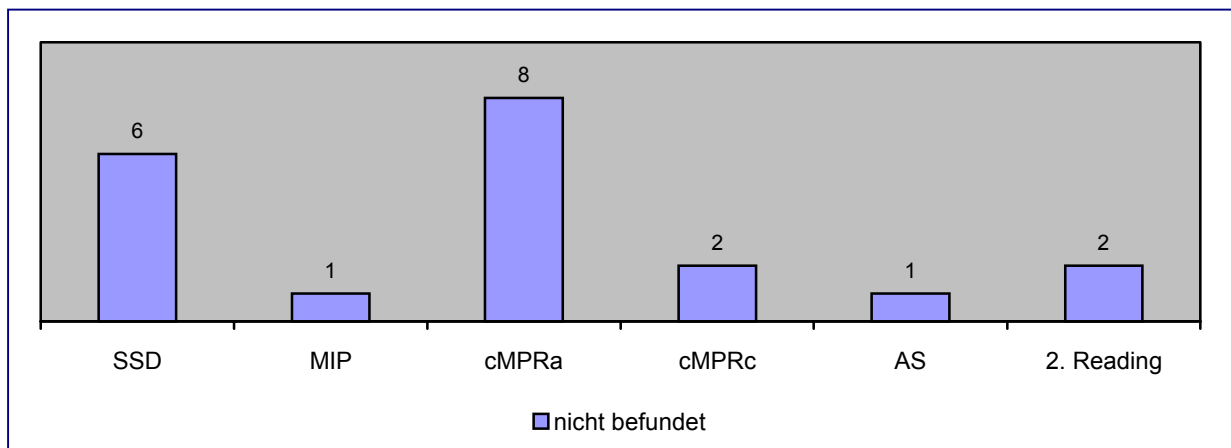
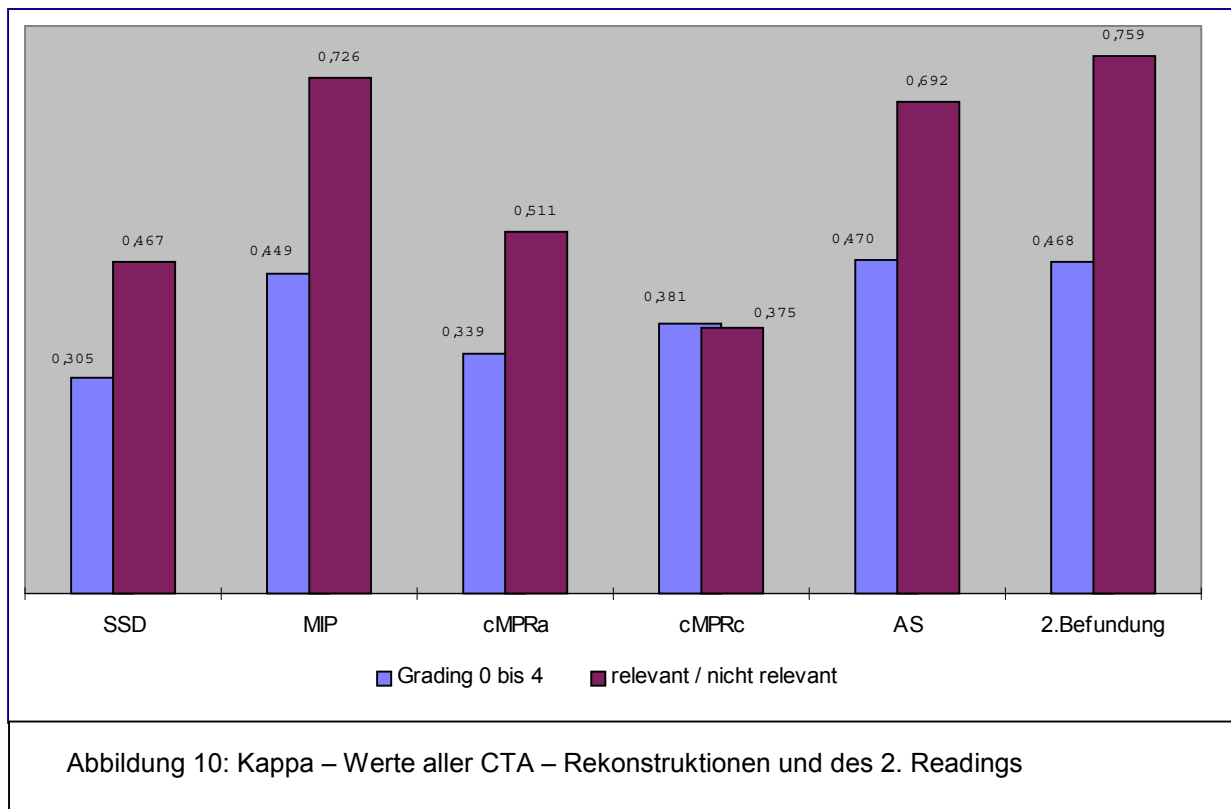


Abbildung 9: Anzahl der mittels CTA nicht befundeten Nierenarterien

3.2.6 Kappa- Werte

Sie wurden anhand der oben angegebenen Resultate sowohl für die Einteilung in die Grade 0 bis 4 als auch für die Differenzierung relevanter von nicht relevanten Stenosen berechnet.

Die Abbildung 10 verdeutlicht die Übereinstimmung der Befunde der einzelnen Projektionen mit denen der Angiographie anhand des kappa - Wertes. Hier ergeben sich beim Zwei-Stufen- Grading annähernd gleiche („gute“) Werte für die Axialen Schichten, die Maximum- Intensitäts- Projektionen und die Verwendung aller Projektionen im zweiten Reading. Bei den anderen Rekonstruktionen war die Übereinstimmung deutlich geringer („befriedigend“).



3.2.7 Kontrastierung der Gefäße

In unseren Untersuchungen wurde CT – Dichtewerte von durchschnittlich 207 HE im proximalen Lumen der Nierenarterien erreicht (Bereich von 119 bis 393 HE, siehe Tabelle 33). Bei den Patienten 1, 6, 20 und 22 wurden Werte unter 150 HE festgestellt. Der Dichtewert der Nierenvenen betrug im Mittel 116 HE. Die Differenz zwischen arterieller und venöser Kontrastierung war bei den Patienten 6, 12, 18, 20 und 22 geringer als 50 HE. Die Nierenvenen der Patienten 6 und 22 waren stärker kontrastiert als die Nierenarterien.

Tabelle 33: Durchschnittliche CT – Dichtewerte der beurteilten Untersuchungen

	CT - Dichtewerte (HE – Einheiten)		
	Aorta abdominalis	Nierenarterien	Nierenvenen
Mittelwert	231	207	116
Maximalwert	413	393	203
Minimalwert	138	119	20

3.3 Diskrepante CTA – Befunde

Hinsichtlich der Unterscheidung von relevant und nicht relevant stenosierte Nierenarterien lieferte die CT-Angiographie in der zweiten Befundungssitzung die in Tabelle 34 dargestellten Fehlbefunde.

Tabelle 34: Diskrepante und fehlende Befunde

Angiographiebefund	CT- Angiographiebefund	Fall - Nummer
1 relevant stenosierte Arterie	Nicht stenosiert	15
2 nicht stenosierte Arterien	Relevant stenosiert	5; 6
2 nicht relevant stenosierte Polararterien	Nicht befundet	2; 22

Im Folgenden sollen die im Zwei- Stufen- Grading aufgetretenen relevanten Diskrepanzen ausführlich dargelegt werden, da auf diese Fälle in der Diskussion Abschnitt 4.2 besonders eingegangen wird.

Fall 5: Transplantatnierenarterienstenose, Angiographie Grad 1 vs. CTA Grad 2

Es handelt sich um einen Patienten mit einer transplantierten Niere, wo wegen ansteigender Retentionswerte der Verdacht auf eine Anastomosenstenose erhoben und sonographisch erhärtet worden war. Mittels CTA wurde in der Studie eine relevante Stenose (Grad 2) diagnostiziert, die laut Referenz (Grad 1, Abb. 14) nicht vorlag. Die Befundung erfolgte im zweiten Reading anhand der MIP und cMPRa (Abb.13). Insgesamt gaben die CT- Projektionen mit Ausnahme der axialen Schichten die kegelförmige Verjüngung des Lumens eindeutig wieder.

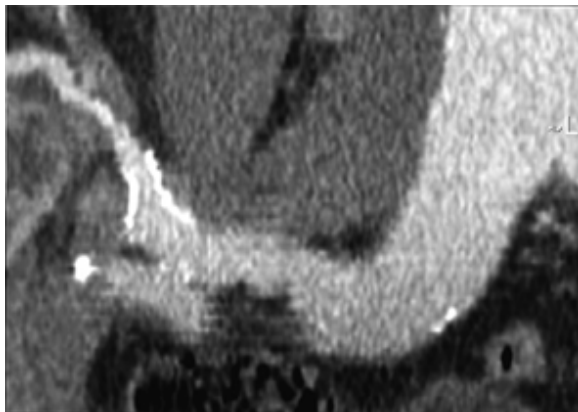


Abbildung 11: Kegelartige Arterieneinengung bei der Transplantatnierenarterie des Falles 5. Gute Darstellung der Kalkplaques durch die MIP



Abbildung 12: DSA des Falles 5

Fall 6: Kalkplaque der rechten Nierenarterie, Angiographie Grad 1 vs. CTA Grad 2

Der Patient dieses Falles hatte sich bereits zweimal einer PTA der rechten Nierenarterie unterzogen. Es bestand wegen erneuter hypertensiver Blutdruckwerte der Verdacht auf eine Restenosierung. Duplexsonographisch war eine 70-prozentige Einengung diagnostiziert worden. Die Stenose wurde angiographisch als erstgradig und mit der CTA als zweitgradig eingeschätzt. Auf dem angiographischen Bild fällt im Abgangsbereich der rechten Nierenarterie lediglich eine Kontrastminderung auf (Abb. 13), die sich anhand der axialen und coronalen MPR- Rekonstruktionen auf ein im caudalen Anteil der Vorderwand des Gefäßes gelegenes Kalkplaque zurückführen lässt (Abbildungen 14 und 15). Obwohl dieses, wahrscheinlich als Folge der vorausgegangenen Angioplastie, die äußere Gefäßwand vorzuwölben scheint, bewirkt es jedoch im caudalen Anteil des Lumens eine deutliche Einengung. Auffällig ist die schlechte Kontrastierung der Nierenarterien (Abb. 14), welche die 3D- Oberflächenrekonstruktion nahezu unbrauchbar macht (Abb. 16).



Abbildung 13: Kontrastminderung im proximalen Drittel der rechten Nierenarterie von Fall 6, DSA.

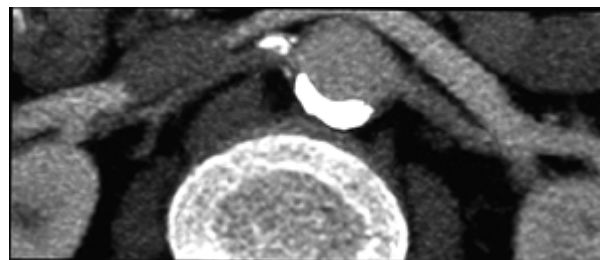


Abbildung 14: Kalkdichtes Plaque an der ventralen Gefäßwand im proximalen Drittel der rechten Nierenarterie von Fall 6, cMPRa



Abbildung 15: Das Plaque wird auch durch die cMPRc wiedergegeben.



Abbildung 16: Typische Venenüberlagerung bei der Nierenarterien in der SSD von Fall 6.

Fall 15: Re- Stenose nach PTA rechts, Angiographie Grad 3 vs. CTA Grad 1

Die Patientin hatte sich bereits drei Monate vor den Untersuchungen einer beidseitigen PTA unterzogen und war wegen erneuter hypertoner Blutdruckwerte unter antihypertensiver Mehrfachmedikation überwiesen worden. Tabelle 35 gibt eine Übersicht über alle bei dieser Patientin erhobenen Befunde.

Tabelle 35: Zusammenstellung der Befunde des Falles 15, relevante Stenosen rot, nicht relevante blau.

Aufnahme	Stenosegrad rechts	Stenosegrad links
Angiographie	3	3
Erstes Reading cMPRa	2	3
Erstes Reading cMPRc	1	1
Zweites Reading (cMPRa + cMPRc)	1	2
CTA- Befund außerhalb der Studie	1	2

Die Angiographie dieser Patientin zeigt beidseitige hochgradige Nierenarterienstenosen. Die rechte Arterie wurde angiographisch wegen einer deutlichen Lumeneinengung ca. fünf Millimeter nach ihrem Abgang aus der Aorta und wegen der zusätzlichen Kontrastminderung in diesem Bereich als drittgradig eingestuft (Abb.17). Bei der CTA erwiesen sich die multiplanaren Reformationen als aussagekräftig (Abb.18 und 19). Mit ihnen wurde im ersten, separaten Reading die rechte Stenose als Grad 2 (cMPRa) bzw. 1 (cMPRc) befundet. Beim zweiten Reading ist unter Zuhilfenahme der multiplanaren Reformationen Grad 1 rechts diagnostiziert worden, womit rechts eine relevante Unterschätzung vorliegt. Die axialen multiplanaren Rekonstruktionen lassen nur auf zwei Bildern überhaupt ein Lumen erkennen, welches hier fast 50% des normalen Gefäßdurchmessers beträgt. Außerdem kommen, wie bei der cMPRc, diskrete kalkdichte Strukturen zur Abbildung, wobei sich bei letzterer das Lumen ebenfalls auf knapp die Hälfte reduziert zeigt (Abb.18 und 19). Links wurde im zweiten Reading eine relevante Stenose in Übereinstimmung mit der Angiographie beschrieben.



Abbildung 17: Angiographischer Nachweis drittgradiger Stenosen beider Nierenarterien im Fall 15.

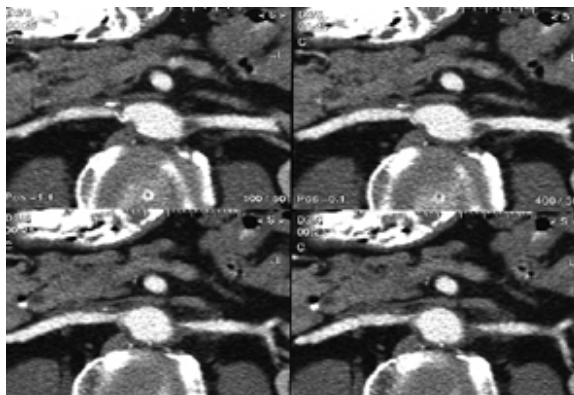


Abbildung 18: Die cMPRa von Fall 15 lässt minimale Restlumina beider Nierenarterien erkennen.

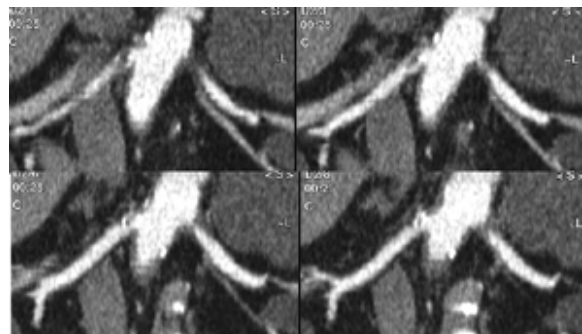


Abbildung 19: Die cMPRc von Fall 15 gibt die Situation unschärfer wieder als die cMPRa, die Beurteilung fällt schwerer.

3.4 Fehlende CTA - Befunde

Von den Patienten 2 und 22 fehlt die Beurteilung je einer Arterie. Da nicht primär von einem Flüchtigkeitsfehler ausgegangen werden konnte, wurde die Befundung nicht wiederholt. In diesem Abschnitt sollen die beiden fehlenden Befunde beschrieben werden, eine Bewertung erfolgt im Abschnitt 4.3.

Fall 2: linke akzessorische Arterie fehlt im CTA- Befund

Im Fall 2 liegt eine Doppelversorgung beider Nieren vor (Abb. 20), wobei auch die akzessorischen Gefäße ein relativ großes Lumen haben und in allen CTA- Rekonstruktionen identifizierbar sind. Die linke Polararterie wurde nicht im CTA- Befund der zweiten Befundungssitzung erwähnt. Hierbei wurden zur Beurteilung die axialen und coronalen multiplanaren Rekonstruktionen verwendet (Abbildungen 21 und 22), anhand welcher beim ersten Reading jedoch alle vier Arterien erkannt worden waren.

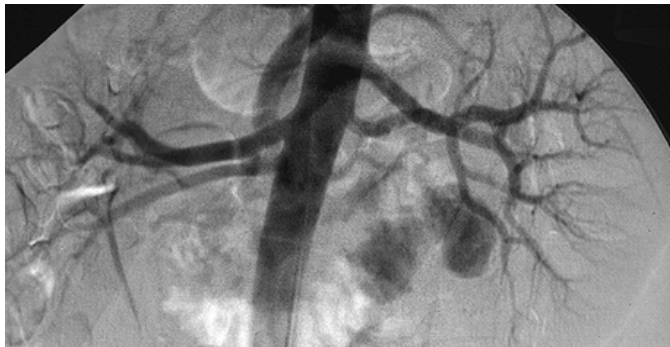


Abbildung 20: DSA von Fall 15, Doppelversorgung beider Nieren ohne relevante Stenosen

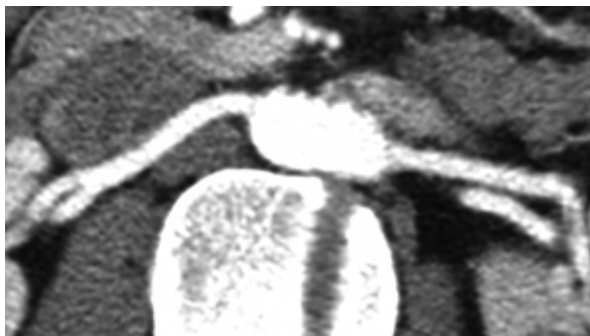


Abbildung 21: Die Nierenhauptarterien des Falles 2 stellen sich in der cMPRA nicht relevant verengt dar.

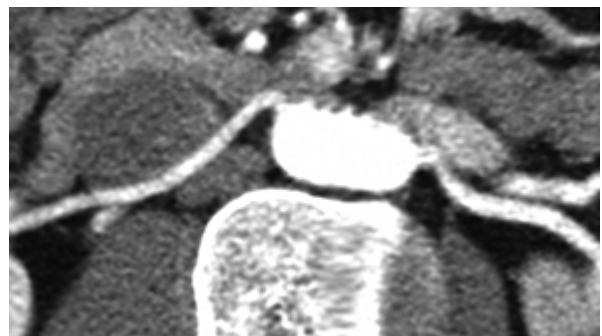


Abbildung 22: Die kaliberschwächeren Polararterien wurden auf einem zweiten Bild dargestellt.

Fall 22: rechte Polararterie auf CTA- Bildern nicht abgebildet

Sämtliche Bilder dieses Falles sind von sehr schlechter Qualität, weswegen nur wenige der CTA- Befunde eine Übereinstimmung mit der Angiographie ergaben (Tabelle 36). Angiographisch wurde rechts eine drittgradige Stenose und links eine zweitgradige diagnostiziert (Abb.25, rechte Arterie). Zusätzlich wird die rechte Niere über eine akzessorische Arterie versorgt, welche nicht stenosiert war (Abb.26). Diese Polararterie rechts ist auf keinem der CTA- Bilder abgebildet. Die multiplanaren Reformationen und die MIP lassen ausgeprägte Kalkplaques erkennen (Abbildungen 27 und 28).

Tabelle 36: Nur wenige CTA- Befunde stimmten bei Fall 22. mit der Angiographie überein.

Aufnahme	Stenosegrad rechts cranial	Stenosegrad links
Angiographie	3	2
Erstes Reading MIP	2	4
Erstes Reading cMPRa	3	4
Erstes Reading cMPRc	3	4
Erstes Reading axiale Schichten	2	3
Zweites Reading (cMPRc)	3	3

Die Patientin litt unter generalisierter Arteriosklerose und wurde wegen des Verdachtes auf Lungenembolien einer CT der Pulmonalarterien zugeführt. An diese Untersuchung schloss sich unmittelbar der Scan der Nierenregion an.



Abbildung 23: DSA der rechten Nierenarterie von Fall 22 mit drittgradiger, abgangsnaher Stenose.

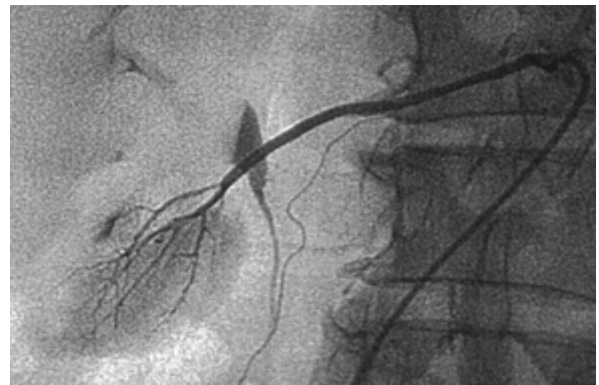


Abbildung 24: Nicht stenosierte Polararterie rechts von Fall 22.

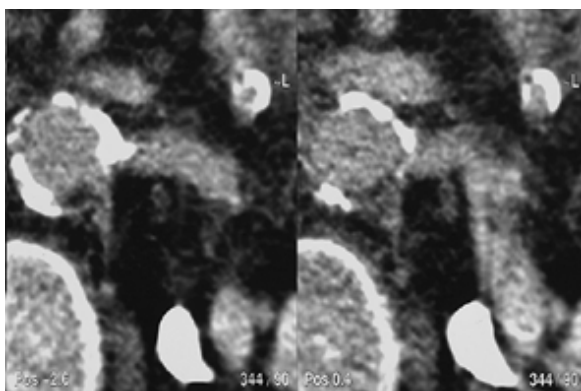


Abbildung 25: : Die cMPRa war im Fall 22 die am besten beurteilbare Projektion

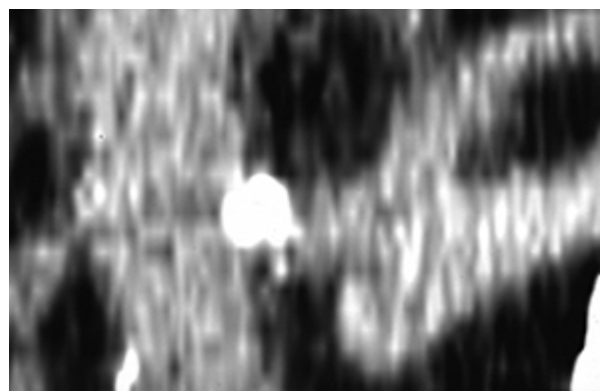


Abbildung 26: Anhand der MIP lässt sich die Stenose nur auf Grund des Plaques erahnen.

3.5 Fehlbefund der Angiographie

Wie in der Diskussion noch erläutert wird, liegt bei diesem Fall nachweislich eine fehlerhafte Einschätzung des Stenosegrades anhand der Angiographiebilder vor. Bei diesem Patienten mit generalisierter Arteriosklerose, Hypertonie und ansteigenden Nierenretentionswerten besteht eine große Diskrepanz zwischen linksseitigem angiographischen und CT-angiographischem Befund (Grad 3 vs. Grad 0). Das Angiogramm zeigt im proximalen Drittel der linken Nierenarterie ein Kontrastminderung des gesamten Lumens, welche den Eindruck eines an der ventralen oder dorsalen Gefäßwand liegenden Plaques erweckt (Abb.27). In keinem der CT- Bilder lassen sich jedoch kalkdichte Plaques erkennen, weswegen es sich um eine nicht verkalkte Wandablagerung (sogenanntes Softplaque) handeln dürfte. Mit der CTA wurde die linken Nierenarterie als nicht stenosiert eingeschätzt. Die verwendeten multiplanaren Rekonstruktionen, besonders die cMPRa (Abb.28), zeigen jedoch eine deutliche Verengung im proximalen Drittel des Gefäßes. In der coronalen cMPRc (Abb.29) und der MIP ist die Veränderung nicht so deutlich. Bei den axialen Schichten ist die interessierende Region zu klein abgebildet (Bilderstellungsfehler).



Abbildung 27: Anhand der Kontrastminderung im proximalen Drittel wurde im Fall 14 mittels Angiographie eine drittgradige Stenose diagnostiziert.

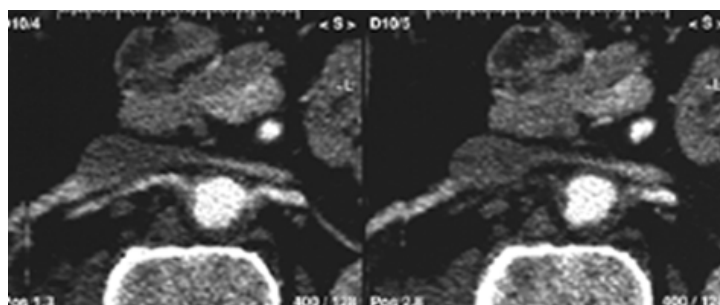


Abbildung 28: cMPRa von Fall 14, Die linke Nierenarterie wird von dorsal durch ein nicht verkalktes Plaque verengt.

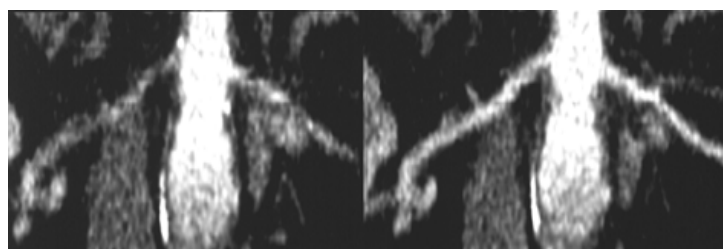


Abbildung 29: Aus coronaler Sicht ist die Stenose auf einem dorsalen Schnittbild der cMPR (linkes Bild) erkennbar.

4 DISKUSSION

Die Spiral- CT- Angiographie (CTA) hat in mehreren Studien eine exzellente Wiedergabe sowohl der Nierenhauptarterien als auch der akzessorischen Gefäße und ihrer Veränderungen geliefert, so dass sogar der Grad der Stenose mit hoher Korrektheit beurteilt werden konnte; in der Lokalisation von Plaques und bei der Einschätzung der anatomischen Lagebeziehungen erwies sie sich der Angiographie überlegen [82, 83, 84, 85, 86, 110, 113]. Sensitivität und Spezifität erreichten bis zu 98 % in diesen Studien. Dabei wurden verschiedene Untersuchungsprotokolle angewendet, und auch die Befunderstellung erfolgte anhand unterschiedlicher Rekonstruktionsarten. Während in einigen Arbeiten alle verfügbaren Rekonstruktionen zur Befundung verwendet wurden [92, 82, 83, 85], wurden in anderen Studien eine Kombination aus axialen Schnittbildern und MIP [84] oder MIP und SSD [87] verwendet. Bezüglich Untersuchungsprotokoll und Befunderstellung besteht also noch kein Konsens.

Wir haben das „3-3-1“ – Untersuchungsprotokoll angewendet und alle Rekonstruktionen zunächst einzeln beurteilt. Die CTA – Diagnose wurde danach anhand aller Projektionen eines Falles gestellt. Dabei kam eine fünfteilige Skala zur Anwendung. Als relevant erachteten wir alle Stenosen mit einer Lumeneinengung von über 50 %. Alle Befunde wurden am Goldstandard Angiographie gemessen. Auf diese Weise konnten wir sowohl die Parameter Sensitivität und Spezifität für die Diagnostik einer Nierenarterienstenose bestimmen, als auch die Wertigkeit der einzelnen Rekonstruktionsarten einschätzen.

Interpretation der Ergebnisse

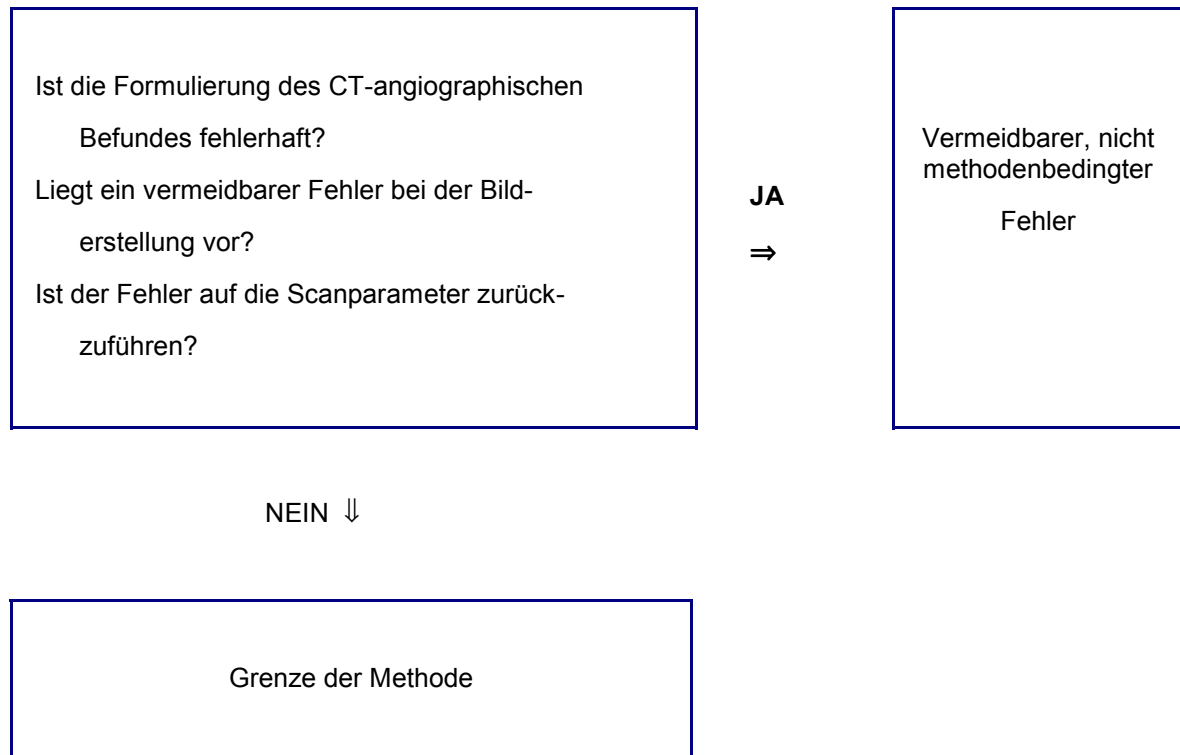
Mit einer Sensitivität von 92,9 % und einer Spezifität von 86,7 % für die Erkennung relevanter Stenosen liegt die diagnostische Qualität unserer Untersuchungen etwas unter der anderer Arbeiten [82, 83, 84, 85, 86, 87], bei denen die Mittelwerte dieser Parameter 93,6 % bzw. 96,8 % betragen. Bei einer angestrebten Prävalenz von 20 % relevant stenosierte Nierenarterien unter den zu untersuchenden Kranken würde dies einen positiven und negativen prädiktiven Wert von 59,1 bzw. 97,9 % bedeuten. Noch deutlicher wird der Unterschied anhand der Übereinstimmung von angiographischem und CT- angiographischem Befund, die nur in 65,9% erreicht wurde, während in den oben erwähnten Studien die Übereinstimmung durchschnittlich 93 % betrug.

Eine Einteilung des Stenosegrades in fünf Gruppen, wie bei dieser Arbeit verwendet, ermöglicht eine sehr genaue Beurteilung der diagnostischen Qualität. Sie wurde auch deshalb gewählt, um einen Vergleich mit anderen Studien zu diesem Thema zu ermöglichen. In der Praxis lässt sich jedoch eine derartig scharfe Unterteilung nicht durchführen, da es selbst mit der Referenzmethode nicht möglich ist, Lumendifferenzen von einem Prozent zu reproduzieren. Darum soll im Weiteren nur auf relevante und nicht relevante Stenosen eingegangen werden, obwohl auch da die Grenze zwischen 49 und 50 % scharf gezogen ist.

Unter diesem Aspekt wurde bei einem der 23 Patienten eine relevante Stenose nicht als solche erkannt, bei zwei Patienten wurden fälschlicherweise relevante Stenosen diagnostiziert. Vorausgesetzt, der behandelnde Arzt verlasse sich allein auf den Befund der CT-Angiographie, würde bei vier von einhundert untersuchten Patienten mit therapiebedürftigen Stenosen die Diagnose verfehlt und ein eventuell heilsamer Eingriff unterlassen. Neun Prozent der Patienten müssten sich einer unnötigen Angiographie unterziehen. Demgegenüber sind insgesamt 48 % der Studienteilnehmer angiographiert worden, ohne dass bei ihnen relevante Stenosen vorlagen. Eine vorherige CTA hätte demzufolge die Anzahl unnötiger Angiographien auf ein Fünftel reduzieren können. Auch Olbricht et al. [96] geben nach ihren Erfahrungen eine mögliche Reduktion der diagnostischen Nierenangiographien um bis zu 70 % an.

Fehleranalyse

Um mögliche Ursachen eines Fehlbefundes zu erkennen, muss die gesamte Kette von der Untersuchung über die Bilderstellung bis hin zur Befundung untersucht werden. Dabei wurde nach folgendem Schema geurteilt:



Zur Analyse der Fehlerursache bei den fünf Fehlbefunden der CTA und dem einzelnen Fehlbefund der Angiographie wurden alle Bilder des jeweiligen Patienten erneut verglichen. Außerdem erbrachte der Vergleich mit den Angiographie- und CTA - Befunden, die vor der Studie von anderen Radiologen erhoben worden waren, entscheidende Hinweise zur Klärung der Diskrepanz. Hierzu konnten auch die Werte von den intraarteriellen Druckmessungen während der Angiographie beitragen.

Fall 5: Transplantatnierenarterienstenose, Angiographie Grad 1 vs. CTA Grad 2

Eine erneute Analyse der in den Abbildungen 5 und 6 dargestellten Bilder bestätigte einen angiographischen Stenosegrad von 54 % und einen CT – angiographischen von 47 %. Bereits im Rahmen der Diagnostik, die ursprünglich außerhalb dieser Studie mit den auch in der Studie verwendeten Bildern stattfand, wurde die Stenose in der Angiographie als „maximal 50prozentig“ und bei der CT-Angiographie als „ca. 60prozentig“ eingeschätzt.

In dieser anatomisch schwierigen Situation wurde die CT-Angiographie anhand der MIP und cMPRa – Projektionen befundet, wobei lediglich geringe, aber bei der verwendeten Skala eben entscheidende Differenzen zur DSA entstanden. Die geringe Abweichung im Stenosegrad müssen wir als Grenze der Methode ansehen.

Fall 6: Kalkplaque der rechten Nierenarterie, Angiographie Grad 1 vs. CTA Grad 2

Die Stenose wurde angiographisch als erstgradig und mit der CTA als zweitgradig eingeschätzt. In der Befundung außerhalb der Studie war angiographisch ebenfalls „keine relevante Verengung“ beschrieben worden, was durch das Fehlen eines Druckgradienten bestätigt wurde. Mit der CTA wurde damals eine „ca. 50-prozentige Stenose“ diagnostiziert.

Beim zweiten Reading wurde der CTA- Befund anhand der axialen und coronalen MPR erhoben (Abb.16 u. 17). Die MIP- Bilder enthielten keine zusätzlichen Informationen. Ob die in einigen MPR- Schnittbildern sichtbare Vorwölbung des Plaques im proximalen Drittel der rechten Nierenarterie insgesamt eine zweitgradige Stenose bewirkt, ist nicht sicher zu beurteilen, da das craniale Lumen frei ist.

Auffällig ist in allen Projektionen der relativ niedrige Kontrast der Arterien (durchschnittlich 158 HE) und die starke Kontrastierung der Nierenvenen (203 HE), welche die SSD-Aufnahmen nahezu unbrauchbar macht (Abb.16). Die Beurteilbarkeit der multiplanaren Rekonstruktionen leidet unter der suboptimalen Kontrastmittelapplikation jedoch nur in geringem Maße.

Dieser Fall demonstriert trotz des Fehlbefundes zwei deutliche Vorteile der CTA, nämlich die axiale Blickrichtung und die direkte Darstellung der Plaques. Wenn der Befund des Goldstandards Angiographie und der Druckmessung akzeptiert werden, haben die genannten Vorteile hinsichtlich der Beurteilung des Stenosegrades in diesem Fall keinen diagnostischen Gewinn erbracht. Die Differenz zum angiographischen Befund muss als Grenze der Methode eingestuft werden.

Fall 15: Re- Stenose nach PTA rechts, Angiographie Grad 3 vs. CTA Grad 1

Es liegt eine relevante Unterschätzung der rechtsseitigen Stenose vor. An der Richtigkeit der angiographischen Einschätzung besteht kein Zweifel. Der CTA- Befund wurde anhand der multiplanaren Rekonstruktionen erhoben. Die Gründe für die unterschätzende Einstufung sind retrospektiv nicht zu finden. Der Befunder hat es zwar versäumt, bei der zweiten Befundungssitzung die ebenfalls sehr deutliche Darstellung durch die MIP und die axialen Schichten zu nutzen, die ihn möglicherweise auf einen höheren Stenosegrad hingewiesen hätte. Auffällig ist jedoch die Übereinstimmung des CTA- Befundes aus der Studie mit dem außerhalb der Studie erhobenen (damals „30%“). Letzterer wurde von einem anderen Radiologen mit selbst erstellten multiplanaren Rekonstruktionen erarbeitet. Somit ist ein Fehler des Befunders oder des Bilderstellers eher unwahrscheinlich.

Die Stenose imponiert also CT- angiographisch als erstgradig. Da auch die Bildqualität hinsichtlich Venenüberlagerung und Kontrastierung einwandfrei ist, wird dieser Fehlbefund als methodenbedingt eingestuft.

Fall 2: linke akzessorische Arterie fehlt im CTA- Befund

Da alle vier Arterien dieses Patienten in allen CTA- Rekonstruktionen sicher identifizierbar sind, kann davon ausgegangen werden, dass der befundende Radiologe die linke akzessorische Arterie versehentlich im CTA- Befund nicht angegeben hat. Die Beurteilung wurde jedoch nicht wiederholt, da die Befundung Teil der Methode ist, und somit nicht sicher ausgeschlossen werden kann, dass Fehler wie dieser einen Bezug zur Methode haben. Es handelt sich jedoch höchstwahrscheinlich um einen vermeidbaren Fehler, der nicht der Untersuchung angelastet werden kann.

Fall 22: rechte Polararterie auf CTA- Bildern nicht abgebildet

Sämtliche Bilder dieses Falles sind von sehr schlechter Qualität, weswegen nur wenige der CTA- Befunde eine Übereinstimmung mit der Angiographie ergaben. Der Angiographiebefund lautete: Grad 3 rechts, Grad 2 links, nicht stenosierte rechte Polararterie. Von dieser Untersuchung liegen auch die Ergebnisse der Druckmessung außerhalb der Studie vor. Die Druckgradienten betrugen rechts 15 mm Hg und links 8 mmHg. Die rechte Polararterie ist auf keinem der CTA- Filme abgebildet.

Die CTA der Nierenarterien erfolgte im Anschluss an die CTA der Pulmonalgefäße, die wegen des Verdachtes auf eine pulmonale Embolie durchgeführt worden war. Der Bericht enthält keinen Hinweis auf Schwierigkeiten während der Untersuchung. Da die Patientin jedoch unter Ruhedyspnoe litt, sind atemabhängige Artefakte in Erwägung zu ziehen. Auffällig ist außerdem die schlechte Kontrastierung der Nierenarterien, welche sich in ihren Dichtewerten kaum von Parenchym unterscheiden. Sie betrugen hier für die Nierenarterien durchschnittlich 138 HE, für die Venen ca. 200 HE. Dies ist höchstwahrscheinlich auf die vorangegangene Kontrastdarstellung der Pulmonalgefäße zurückzuführen.

Der Fehlbefund kam in diesen Fall durch die Anwendung der Methode an einem ungeeigneten Patienten sowie durch die nicht optimale Durchführung der Untersuchung zustande und wurde als untersuchungsbedingt, also vermeidbar, eingestuft. Auch wenn die CTA an einem beatmeten Patienten durchgeführt werden könnte, offenbart sich hier ein Vorteil der konventionellen Angiographie, nämlich die raschere, von Bewegungsartefakten kaum beeinträchtigte Bildaufnahme.

Zusammenfassend liegt die Ursache der Fehlbefunde der CTA in drei Fällen in der Methode selbst, in einem in der Untersuchungsdurchführung und in einem Fall in der Befundformulierung.

Würde man die vermeidbaren zwei Fehler von den Resultaten der zweiten Befundungssitzung ausklammern, stiege die Spezifität unserer Untersuchungen auf 92,9 %, die Sensitivität würde davon nicht berührt.

Fehlbefund der Angiographie

Zur Klärung der Diskrepanz zwischen linksseitigem angiographischen und CT-angiographischem Befund (Grad 3 vs. Grad 0). tragen die vor Studienbeginn erhobenen Befunde bei. Anhand der CTA war hier der Verdacht auf eine mittelgradige Stenose geäußert worden, angiographisch wurde eine relevante Stenose durch das Fehlen eines Druckgradienten zwischen Aorta und peripherer A. renalis sinistra ausgeschlossen.

Somit ist höchstwahrscheinlich im Rahmen der Studie ein falscher Angiographiebefund erhoben worden, weswegen wir in der Auswertung den Befund der Druckmessung, der außerhalb der Studie erhoben worden war, als Goldstandard nutzten und eine relevante Stenose ausschlossen.

Analyse der diagnostischen Wertigkeit der Rekonstruktionen

Mit der Befundung der **axialen Schichten** wurden praktisch dieselben Resultate wie bei Zuhilfenahme aller Projektionen erzielt. Jene wurden allerdings bei der zweiten Befundungssitzung in keinem Fall hinzugezogen. Die axialen Schichten verursachen den geringsten Bilderstellungsaufwand, da sie sofort durch die Aufnahmekonsole generiert werden. Weil aber viele Einzelbilder für die Befundung benötigt werden, ist eine Filmbefundung material- und zeitaufwendig. Hier ist die Beurteilung im Cine-Mode am PC sehr effektiv. Im Cine-Mode können die aufeinander folgenden Schnittbilder wie die Einzelbilder eines Filmes rasch nacheinander auf dem Bildschirm betrachtet werden. Plaques sind vom Gefäßlumen in dieser Rekonstruktion in der Regel abgrenzbar. Die axialen Schnittbilder wurden in fast allen anderen Studien zu diesem Thema verwendet und von Kim, Olbricht, Wittenberg als sehr aussagekräftig eingeschätzt [84, 82, 86]. Prokop stuft die Betrachtung im Cine-Mode als Basismethode bei allen CT – angiographischen Untersuchungen ein [101].

Die **axialen multiplanaren Rekonstruktionen** wurden am häufigsten, nämlich bei 24 Arterien, für die Erstellung des Endbefundes verwendet. Es stellt sich jedoch jetzt überraschenderweise heraus, dass die cMPRa allein betrachtet die meisten Fehlbefunde liefert. Außerdem ist der Anteil an nicht befundeten Gefäßen hier am größten. Neun der 20 nicht korrekten Befunde werden auf die Befundung, fünf auf die Bilderstellung zurückgeführt, womit lediglich sechs Fehlbefunde sicher der Methode und der Rekonstruktion angelastet werden können.

Auch bei den **coronalen multiplanaren Reformationen** war die diagnostische Qualität nicht wesentlich besser. Das ist zum einen wahrscheinlich darauf zurückzuführen, dass die sonst übliche Methode der Bildschirmbefundung in dieser Studie nicht gegeben war. Hiervon profitieren besonders die zweidimensionalen Rekonstruktionen, da durch das stufenlose Durchblättern der einzelnen Schichten ein beträchtli-

cher Informationsgewinn entsteht. Außerdem birgt die Erstellung der geschlängelten Reformationsebenen anhand des vom Bildersteller einzuzeichnenden Pfades möglicherweise die Gefahr der Verfälschung des Befundes. Nach unseren Erfahrungen muss der Pfad äußerst genau in die Mitte des Gefäßes gelegt und dem Verlauf der Arterie durch kurze Abstände zwischen den einzelnen Markierungen sehr genau angepasst werden. Vorteile der multiplanaren Reformationen sind die geringe Beeinträchtigung durch Venenüberlagerungen und die Darstellung von Hard- und Softplaques.

Ein ähnlich großes Verfälschungsrisiko ist der Erstellung der **SSD- Bilder** inhärent, da hier durch Veränderung der Schwellwerte für abzubildende Pixel eine fast beliebige Betonung oder Vertuschung des wahren Befundes möglich ist. Bezüglich der SSD bestätigen wir die Erfahrung früherer Studien zur CTA von Nierenarterien, dass sie zwar im Rahmen einer Befunddemonstration einen guten räumlichen Eindruck vermittelt, zur Beurteilung des Stenosegrades in erster Linie aber nicht einsetzbar ist [86, 90, 96]. Sie ist die Darstellung, die durch Venenüberlagerung am häufigsten unbrauchbar ist und ermöglicht oft keine Differenzierung zwischen einem Plaque und dem kontrastierten Lumen.

Die **Maximum- Intensitäts- Projektionen** lieferten nach den axialen Schichten die meisten korrekten Befunde. Auf den angiographieähnliche Bildern lassen sich kalkdichte Plaques sehr gut vom Gefäßlumen differenzieren. Wenn sich stärker kontrastierte Venen während der Bildbearbeitung nicht entfernen oder aus der Blickrichtung herausdrehen lassen, so sind diese Aufnahmen allerdings oft nicht auswertbar. Die Qualität der MIP ist in besonderem Maße von einem hohen Gefäßkontrast abhängig, da pro Strahlengang nur der Punkt mit der höchsten Dichte dargestellt wird. Möglicherweise kann jedoch auf andere Rekonstruktionen verzichtet werden, wenn axiale Schichten und MIP technisch einwandfrei sind. Kim et al. erreichten durch die Beurteilung nur dieser beiden Rekonstruktionen eine Sensitivität von 90 % und eine Spezifität von 97%.

Nach den Untersuchungen von Brink et al. zur Optimierung der Scanparameter tritt eine Unterschätzung des Stenosegrades durch die MIP vor allem bei gutem Gefäß – Gewebe – Kontrast auf und lässt sich besonders nach dem fast vollständigen Entfernen des vor und hinter der Gefäßebene gelegenen Gewebes bei der Bilderstellung beobachten [91]. Tatsächlich wurde bei der Erstellung unserer Maximum- Intensitäts- Projektionen großer Wert auf diese Bearbeitung gelegt, so dass sich hier eine mögliche Erklärung für die tendenzielle Unterschätzung des Stenosegrades bietet.

Die Erkenntnisse über die Qualität der einzelnen Rekonstruktionsarten in unserer Studie lassen sich zusammenfassend so darstellen:

- Die Beurteilung aller unserer CT- angiographische Projektionen ergab tendenziell eine Unterschätzung des Stenosegrades.
- Die multiplanaren Rekonstruktionen besaßen die niedrigste diagnostische Qualität, was zum Teil auf die ausschließliche Filmbefundung zurückgeführt wird.
- Die Methoden mit geringerem Bilderstellungsaufwand, nämlich AS und MIP, besitzen die höhere diagnostische Aussagekraft. (Siehe Tendenz in Grafik 4)
- Mit steigendem Schwierigkeitsgrad der Bilderstellung nimmt die Gefahr der Befundverfälschung zu.
- Die 3D – Oberflächenrekonstruktionen vermitteln einen guten räumlichen Eindruck, besitzen aber für die Diagnosestellung eine zu geringe Sensitivität.

Auch bei **Verwendung aller Rekonstruktionen** (zweites Reading) wird eine Tendenz zur Unterschätzung in unseren CTA- Befunden deutlich. Hingegen kam es bei den unter 1.4 aufgeführten Studien durchschnittlich zu 5,4 % Über- und 5,6 % Unterschätzungen. Eine solche Tendenz ist dort also nicht erkennbar. Als Gründe für die überzufällig hohe Anzahl von Unterschätzungen bei unseren Untersuchungen kommen nur die Befundung und die Bildbearbeitung in Frage, da bei anderen Studien das gleiche Untersuchungsprotokoll benutzt wurde.

Retrospektiv lässt sich vermuten, dass eine konsequente Nutzung der axialen Schichten bei der Befundung und eine Bildschirmbefundung aller zweidimensionalen Rekonstruktionen einen Informationsgewinn mit noch höheren Werten für Sensitivität und Spezifität zur Folge gehabt hätte.

Scanprotokoll, Kontrast, Venenüberlagerung, Kontrastmittelmengen

Das verwendete „3-3-1“ Untersuchungsprotokoll, also 3 mm Schichtdicke, 3 mm Tischvorschub/s und 1 mm Rekonstruktionsintervall, wird von mehreren Autoren als optimal für die CTA der Nierenarterien angesehen und kam auch in den Studien von Olbricht, Kaatee und Beregi et al. zum Einsatz, wenn auch teilweise mit 360° statt 180° - Interpolation [82, 83, 85]. Die Untersuchungen von Brink et al. [91] zur technischen Optimierung führten diese Autoren zu dem Schluss, dass die beste Darstellung mit einem „2-2-1-Protokoll“ erreicht wird, wie es bei den Untersuchungen von Wittenberg u. Mitarb. [86] verwendet wurde. Da sich aber hier das Untersuchungsvolumen, welches durch die Scannerleistung und die Fähigkeit des Patienten, den Atem anzuhalten, begrenzt ist, um ein Drittel verringert, halten wir das von uns verwendete Protokoll für den besten Kompromiss, um möglichst auch alle Polararterien zu erfassen. Mit einem Tischvorschub von 3mm/s und ca. 30 s Scanzeit kann ein Volumen von 88,5 mm Länge rekonstruiert werden. 0,75 mm gehen bei 180° - Interpolation an beiden Enden des Untersuchungsvolumens für die Rekonstruktion der Schichten verloren. Mit unserem Scanprotokoll wurden alle akzessorischen Nierenarterien außer einer bei Fall 22 erfasst, wobei hier die gesamte Untersuchung nicht dem üblichen Protokoll entsprach. Eine Anpassung der Schichtdicke an das Gewicht des Patienten erfolgte bei den Untersuchungen nicht. Von Brink et al. wird zur Verbesserung des Kontrastes bei adipösen Patienten eine größere Schichtdicke empfohlen [91]. Um den damit verbundenen Verlust an räumlicher Auflösung zu vermeiden, wurde bei unseren Untersuchungen statt dessen die Röhrenstromstärke angehoben. Dadurch wird das Bildrauschen verringert, was jedoch mit einer höheren Strahlendosis verbunden ist.

Die im Vergleich zur Angiographie deutlich höhere Kontrastmittelmenge der CTA wird als methodeninhärenter Nachteil angesehen. Obwohl Olbricht et al. [82] die Ansicht vertreten, dass aufgrund der geringeren renalen Kontrastmittelkonzentration bei der CTA trotz der größeren Menge keine größere Nephrotoxizität besteht, und eine Verschlechterung der Nierenfunktion durch eine CTA bisher in keiner Studie berichtet wurde, ist es besonders bei Patienten mit eingeschränkter Nierenfunktion sinnvoll, möglichst wenig Kontrastmittel zu verwenden.

Im allgemeinen wird durch die Kontrastmittelgabe eine Anhebung der Dichtewerte im Lumen der Nierenarterien auf mindestens 150 HE angestrebt, über 200 HE gelten als gut [92, 125]. In unseren Untersuchungen wurde diesbezüglich ein Mittelwert von 205 HE erreicht (Bereich von 119 bis 393 HE). Bei den Patienten 1, 6, 20 und 22 wurden Werte unter 150 HE festgestellt. Das führte in den Fällen 6 und 22, deren Venen die eine stärkere Kontrastierung als die Arterien aufwiesen, zu Fehlbefunden der CTA. Alle Rekonstruktionen der Patienten 1 und 20 ließen sich trotz etwas niedriger arterieller HE – Werte (119 bzw. 140 HE) gut beurteilen, da die venöse Kontrastierung minimal war, so dass kein relevanter Fehlbefund resultierte. Bei den dreidimensionalen Rekonstruktionen SSD und MIP ist ein hoher arterieller Kontrast Voraussetzung für hochwertige Bilder, während die anderen Reformate diesbezüglich weniger empfindlich sind.

Die venöse Dichte betrug im Mittel 115 HE (Bereich 20 bis 203 HE). Da für die Befundung die wenig von Venenüberlagerung beeinträchtigten multiplanaren Reformationen genutzt wurden, wirkte sich die relativ starke Kontrastierung der Venen nicht negativ auf die Beurteilung aus. Kaatee et al. haben aus dem gleichen Grund empfohlen, die Verzögerung des Scanstartes von den üblichen 20s auf 44s zu verlängern, da sie bei einer Injektionsrate von 3 ml/s nach dieser Zeit die maximale Kontrastierung der Nierenarterien nachweisen konnten. Auch hier störte die Venenkontrastierung nicht bei der Befundung, da diese anhand der axialen Schichten und der multiplanaren Rekonstruktionen erfolgte [93].

Die insgesamt befriedigende Kontrastierung der Rekonstruktionen dieser Studie wurde mit deutlich weniger Kontrastmittel erzielt als in den bisher veröffentlichten Studien, nämlich mit durchschnittlich 93 ml statt 125 ml. Die Patientenzahl reicht jedoch nicht aus, um einen signifikanten Unterschied zwischen der diagnostischen Qualität bei Kontrastmittelmengen unter und über 100 ml auszuschließen. Bei der Differenzierung relevanter von nicht relevanten Stenosen erreichen wir jedoch annähernd gleiche Ergebnisse wie andere Studien, bei denen mehr Kontrastmittel verwendet wurde.

Die Maximum- Intensitäts- Projektionen haben eine gute diagnostische Wertigkeit auch bei geringerer Kontrastmittelmenge und ohne Anwendung eines Testbolus zur Bestimmung der Kontrastmitteltransitzeit bewiesen. Ihre Qualität ließe sich jedoch durch eine optimale Scanverzögerung noch steigern, so dass sie zusammen mit den axialen Schnittbildern zur Befunderhebung ausreichend wären, wie Kim et al. bereits demonstrierten [84]. Bei Verwendung der multiplanaren Rekonstruktionen und der axialen Schichten ist ein geringerer arterieller Kontrast, und damit eine kleinere Kontrastmittelmenge, ausreichend. Auf die-

se Aufnahmen könnte also zurückgegriffen werden, wenn sich bei der Bildbearbeitung eine unzureichende Qualität der MIP herausstellt.

Die Untersuchungsdauer, bestehend aus Patientenvorbereitung, Scan und abschließende Begleitung des Patienten betrug bei unseren Untersuchungen ca. sieben Minuten. Für ca. 20 Minuten ist die Anwesenheit mindestens einer Röntgenassistentin notwendig. Ein Radiologe übernimmt lediglich den Anschluss der Kontrastmittelpumpe und die Erstellung der Rekonstruktionen. Hierfür wurden gegen Ende der Studie ca. 30 Minuten benötigt, wobei jedoch mehr Projektionen erstellt wurden, als für die Befundung nötig waren. Erfolgt die Befunderstellung am Computer anhand der axialen Schichten und zweier weiterer Rekonstruktionen kann hierfür ein Zeitaufwand von ca. 10 bis 15 Minuten gerechnet werden. Damit liegt der zeitliche und personelle Aufwand deutlich unter dem der Angiographie.

Betrachtungen zum Stellenwert der CTA

Trotz der sehr guten diagnostischen Aussagekraft der CTA und den Empfehlungen einiger Autoren, diese Methode als primäre apparative Diagnostik bei Patienten mit klinischem Verdacht auf eine Nierenarterienstenose einzusetzen, hat sich die Methode hierfür noch nicht in größerem Umfang etabliert. Die Gründe hierfür sind:

1. die noch geringe Verfügbarkeit von Spiral-CT-Geräten mit entsprechender Software und in dieser Methode erfahrenen Radiologen und
2. die bereits etablierten Untersuchungsmethoden.

Zu Punkt eins. Die Anzahl der gegenwärtig in Deutschland betriebenen CT-Geräte lässt sich seit dem Wegfall der Großgeräteverordnung nicht mehr genau bestimmen. Eine Recherche erbrachte die exakten Zahlen von 1997 [94], deren Multiplikation mit einem Zuwachsfaktor eine Gesamtzahl von 1981 CT-Geräten, die 1999 in Deutschland betrieben wurden, ergab. Der Anteil von Spiral-CT-Geräten betrug zu diesem Zeitpunkt ca. 30 %. Es wird jedoch angenommen, dass der größte Teil der herkömmlichen Geräte in den nächsten drei Jahren durch Spiral-CT-Geräte ersetzt wird. Damit wären die technischen Voraussetzungen für eine breitere Anwendung der CTA geschaffen. Eine Hochrechnung der verfügbaren Daten über Angiographiearbeitsplätze (inkl. Herzkathetergeräte) ergibt, dass etwa 920 solcher Geräte in Deutschland im Einsatz sind. Auch die Summe der 1997 betriebenen MRT-Geräte betrug mit 511 nur etwas mehr als ein Drittel der CT-Geräte. Die Anzahl der für die Captoprilszintigraphie geeigneten Geräte ist unbekannt.

Man kann annehmen, dass die Verfügbarkeit der CTA die von Angiographie, Szintigraphie und MRA in den nächsten Jahren deutlich übersteigen wird.

Zu Punkt zwei: Die Frage ob, und - wenn ja - welche der etablierten Methoden zur Diagnostik von Nierenarterienstenosen und renovaskulärer Hypertonie durch die CTA ersetzt werden könnten, ist schwer zu beantworten. Aus den Daten dieser Studie kann hierzu auch keine Schlussfolgerung gezogen werden. Eine Angiographie ist bei Patienten mit einer relevanten Nierenarterienstenose auch in Hinblick auf eine PTA in gleicher Sitzung nahezu unverzichtbar. Alle anderen Patienten setzen sich bei Durchführung einer Angiographie unnötigerweise den damit verbundenen, wenn auch relativ geringen Risiken aus, wodurch nicht zuletzt auch zusätzliche Kosten entstehen. Deshalb sollten möglichst nur die Patienten dieser Methode zugeführt werden, bei denen eine relevante Stenose mit hoher Wahrscheinlichkeit vorher nachgewiesen wurde. Hinsichtlich der diagnostischen Wertigkeit eignen sich hierzu sowohl Captoprilszintigraphie, Doppler-Ultraschall und MRA als auch die CTA gleichermaßen. Die geringen Unterschiede bezüglich Sensitivität und Spezifität außer acht lassend, sind in Tabelle 37 die Vor- und Nachteile dieser Methoden gegenübergestellt. Alle sind nichtinvasiv, risikoarm und mit unterschiedlichem Geräteaufwand behaftet.

Tabelle 37: Merkmale von Captopril – Szintigraphie, Doppler – Ultraschall, MRA und CTA bei der Diagnostik von Nierenarterienstenosen

Methode	Vorteile	Nachteile
Captoprilszintigraphie	geringer technischer Aufwand PTA-Erfolg kalkulierbar	keine morphologischen Aussagen
Doppler-Ultraschall	geringer technischer Aufwand keine Strahlen- oder Kontrastmittelbelastung breite Verfügbarkeit	Qualität stark untersucherabhängig Polarterien oft nicht beurteilbar Einschränkung bei Adipositas
MRA	große diagnostische Information keine Strahlenbelastung	eingeschränkte Verfügbarkeit Polarterien oft nicht beurteilbar
CTA	große diagnostische Information zunehmend größere Verfügbarkeit	Strahlenbelastung hohe Kontrastmitteldosis

Steht ein erfahrener Ultraschall- Untersucher mit einem geeigneten Gerät zur Verfügung, so wird dieser Methode meist der Vorzug zu geben sein, da sie das beste Aufwand- Nutzen Verhältnis besitzt, weder Strahlen- noch Kontrastmittelbelastung enthält und im Gegensatz zur Szintigraphie anatomische Informationen auch in Hinblick auf Nebennierentumoren liefert. Bezüglich der diagnostischen Wertigkeit und der Untersuchungsdauer sind weitere Verbesserungen durch Ultraschallkontrastmittel zu erwarten. Ist eine hochwertige Ultraschalluntersuchung nicht verfügbar, sollte eines der anderen Verfahren angewendet werden.

Dabei ist die Strahlenexposition und die Kontrastmittelapplikation der CTA zu berücksichtigen. Die Äquivalentdosis einer CT-Untersuchung ist ähnlich hoch wie die der Angiographie. Wegen der unterschiedlichen Untersuchungsparameter und Unterschieden in den CT- Geräten weichen die Angaben über effektive Dosis und Organdosen in der Literatur zum Teil erheblich voneinander ab. Bei einer umfangreichen Untersuchung der Strahlenexposition durch die CT in Großbritannien wurde von Shrimpton und Mitarb. 1991 für ein Abdomen- CT 7,2 mSv als Mittelwert für die effektive Dosis ermittelt [124]. In Vorbereitung auf eine operative Rekonstruktion stenosierter Gefäße liefern CTA und MRA die besten Informationen zur OP- Planung. Es ist jedenfalls sinnvoll, bei einem Patienten mit Verdacht auf eine sekundäre Hypertonie, der wegen anderer Fragestellungen eine Abdomen- CT oder -MRA erhält, diese mit einer Nierenarterienuntersuchung zu koppeln.

Ob es bei starkem klinischen Verdacht auf eine renovaskuläre Hypertonie gerechtfertigt ist, ohne vorherige Nutzung anderer Methoden eine Angiographie durchzuführen, bleibt fraglich. Hier sind die Risiken eines falsch negativen CTA- Befundes mit den jeweiligen Konsequenzen und einer unnötigen Angiographie auf den Einzelfall bezogen gegeneinander abzuwägen. Einerseits steigt in dieser Patientengruppe mit hoher Prävalenz an Nierenarterienstenosen das Risiko, falsch negative Befunde zu liefern, da sich der negative Voraussagewert reduziert. Andererseits könnte die Zahl unnötiger Angiographien verringert werden.

Aussage und Limitationen dieser Studie

In Hinblick auf die Zahl von 23 Patienten bzw. 44 Nierenarterien sind die Ergebnisse dieser Studie in erster Linie zur Analyse der diagnostischen Wertigkeit unserer CT – angiographischen Untersuchungen von Nierenarterien geeignet. Aussagen zur diagnostischen Qualität der CT – Angiographie im allgemeinen lassen sich im Kontext mit den bisher veröffentlichten Arbeiten zu diesem Thema ableiten, deren Werte für Sensitivität und Spezifität hinsichtlich der Detektion von Nierenarterienstenosen noch geringfügig höher lagen.

Dabei muss berücksichtigt werden, dass die Befundung in unserer Studie ausschließlich anhand der ausgedruckten Bilder erfolgte, auf deren Erstellung der Befunder keinen Einfluss hatte. Zum Zeitpunkt der Studienplanung war die Filmbefundung noch die etablierte Methode zur Befunderstellung an unserem Institut. Es ist anzunehmen, dass durch die interaktive Bearbeitung der Rohdaten an der Workstation, wie sie in der täglichen Routine durch den Radiologen vorgenommen wird, in Zukunft noch bessere Resultate erzielbar sind, da man hierbei eine bessere Übersicht über die jeweilige anatomische Situation erhält. Besonders die Betrachtung der axialen Schichten im Cine- Mode bietet ein Maximum an Informationen in kürzester Zeit.

5 ZUSAMMENFASSUNG

Zur Bestimmung der diagnostischen Wertigkeit der an unserem Institut durchgeführten CT– Angiographien (CTA) der Nierenarterien verglichen wir die verschiedenen Rekonstruktionen der CTA von 23 Patienten mit den Angiographieaufnahmen. Dabei wurden von jedem Patienten die axialen Schichten, coronale und axiale multiplanare Rekonstruktionen, Maximum– Intensitäts– Projektionen und 3D– Oberflächenrekonstruktionen erstellt. Ohne Kenntnis des angiographischen Befundes wurden zunächst alle Bilder, nach Rekonstruktionsart geordnet, beurteilt. Die endgültige Diagnose der CTA wurde danach anhand aller Bilder eines Patienten gestellt.

Bei einem Teil der 23 Patienten mit Verdacht auf eine relevante Nierenarterienstenose konnte eine solche durch die computertomographische Angiographie mit einer Sensitivität von 92,9% und einer Spezifität von 86,7 % nachgewiesen werden. Der CT- angiographische Stenosegrad stimmte bei Anwendung einer Unterteilung in fünf Kategorien in 65,9 % der Fälle mit dem der Angiographie überein ($\kappa = 0,468$, "befriedigend"). Bei der Differenzierung der relevanten von den nicht relevanten Stenosen an insgesamt 44 Nierenarterien betrug der κ - Wert 0,759 („gut“). Dabei wurden fünf Fehlbefunde erhoben. Drei davon sind als methodenbedingt einzustufen, zwei wären vermeidbar gewesen. Klammert man diese aus, betragen Sensitivität und Spezifität jeweils 92,9 %. Diese Werte unterscheiden sich nicht wesentlich von denen anderer Studien. Mit dieser Aussagekraft ergibt sich in unserer Studie eine Reduktion der unnötig angiographierten Patienten auf ein Fünftel, wenn die Angiographie bei negativem CTA- Befund unterlassen worden wäre. Auffällig war die Tendenz der CTA zur Unterschätzung der Befunde in allen Rekonstruktionen.

Bei der Beurteilung der einzelnen Rekonstruktion lieferten die axialen Schichten (Sensitivität 78,6 %, Spezifität 90,0 %, $\kappa = 0,692$) und die Maximum Intensitäts Projektion (MIP, Sensitivität 71,4 %, Spezifität 96,7 %, $\kappa = 0,726$) die besten Resultate. Die axialen Schichten, die den geringsten Aufwand bei der Erstellung verursachen, sollten zur Befundung in jedem Fall hinzugezogen werden. Ihre Aussagekraft leidet bei schlechter Kontrastierung und starker Venenkontrastierung weniger als die der sonst ebenfalls sehr aussagekräftigen MIP. Die diagnostische Qualität der multiplanaren Reformationen war deutlich geringer, was zum Teil auf die fehlende Möglichkeit der Bildschirmbefundung zurückgeführt wird.

Mit durchschnittlich 92 ml intravenös verabreichtem Kontrastmittel konnte eine ausreichende Kontrastierung von über 150 HE bei 83% der Nierenarterien erreicht werden. Es kann vermutet werden, dass höhere Kontrastmittelmengen eine bessere Übereinstimmung der graduierten Befunde bewirkt hätten. Bezüglich der Erkennung relevanter Stenosen ergibt sich jedoch kein Unterschied zwischen unseren Ergebnissen und denen anderer Studien, die mehr Kontrastmittel verwendeten.

Die in unserer Arbeit festgestellte hohe diagnostische Qualität der Maximum- Intensitäts- Projektionen ließe sich wahrscheinlich durch eine exakte Bestimmung der Kontrastmitteltransitzeit mittels Testbolus noch steigern. Es sollte zukünftig überprüft werden, ob die zeitsparende Beurteilung von MIP und den axialen Schichten zur Befunderhebung ausreichend ist. Falls sich bei der Bilderstellung eine ungenügende Aussagekraft der MIP herausstellt, können noch multiplanare Rekonstruktionen erstellt werden.

Zusammenfassend konnten wir eine hohe diagnostische Wertigkeit der CT-Angiographie feststellen. Möglichkeiten zur weiteren Verbesserung unserer Untersuchungen liegen in der Befundung der axialen Schichten, der Bildschirmbefundung der multiplanaren Rekonstruktionen und in der Steigerung der Kontrastmittelmenge. Die CTA hat aufgrund der zu erwartenden Verfügbarkeit, ihrer hohen diagnostischen Wertigkeit und der geringen Untersucherabhängigkeit das Potenzial, durch den Einsatz bei klinischem Verdacht auf eine Nierenarterienstenose die Zahl unnötiger Angiographien zu reduzieren.

6 LITERATURANGABEN

- 1 Sawicki PT, Kaiser S, Heinemann L, Frenzel H, Berger M; Prevalence of renal artery stenosis in diabetes mellitus - an autopsy study; Jour int med; 1991; 229: 6 S.489-492
- 2 Harrison EG, McCormack L; Pathologic classification of renal arterial disease in renovascular hypertension; Mayo Clin Proc; 1971; 46: 3 S.161-165
- 3 Stimpel M, Groth H, Greminger P, Lüscher TF, Vetter H, Vetter W; The Spectrum of Renovascular Hypertension; Cardiology; 1985; 72 suppl.: 1 S.1-9
- 4 Meaney TF, Dustan HP, McCormack LJ; Natural History of Renal Arterial Disease; Radiology; 1986; 91: S.881-887
- 5 Schreiber MJ, Pohl MA, Novick AC; The natural history of atherosclerotic and fibrous renal artery disease; Urol Clin North Am; 1984; 11: 3 S.383-392
- 6 Zierler RE, Bergelin RO, Isaacson JA, Strandness DE Jr; Natural history of atherosclerotic renal artery stenosis: a prospective study with duplex ultrasonography; J Vasc Surg; 1994; 19: 2 S.250-7
- 7 Mailloux LU, Napolitano B, Bellucci AG, Vernace M, Wilkes BM, Mossey RT; Renal vascular disease causing end-stage renal disease, incidence, clinical correlates, and outcomes: a 20-year clinical experience; Am J Kidney Dis; 1994; 24: 4 S.622-9
- 8 Scoble JE, Taylor PR; Atherosclerotic renal artery stenosis; Br J Surg; 1997; 84: 9 S.1188-9
- 9 Young DF, Cholvin NR, Kirkeeide RL, Roth AC; Hemodynamics of Arterial Stenoses at elevated Flow Rates; Circulation Research; 1977; 41: 01 S.99-107
- 10 Ma AO, Gibbons GH; New insights on renovascular hypertension; Cur.Opin.Cardiol; 1994; 9: S.598-605
- 11 Fiorentini C, Guazzi MD, Olivari MT, Bartorelli A, Necchi G, Magrini F; Selective Reduction of Renal Perfusion Pressure and Bloodflow in Man : Humoral and Hemodynamic Effects; Circulation; 1981; 63: 5 S.973-978
- .
- 12 Ferrario CM, McCubbin JW; Renal blood flow and perfusion pressure before and after development of renal hypertension; A J Physiol; 1973; 224: S.102-109
- 13 Cowley AW, McCaa RE; Acute and chronic Dose-Response Relationships for Angiotensin, Aldosterone, and Arterial Pressure at Varying Levels of Sodium Intake; Circ Res; 1976; 39: 6 S.788-797
- 14 Brown JJ, Davies DL, Morton JJ, Robertson JIS, Cuesta V, Lever AF, Padfield DL, Trust P; Mechanisms of Renal Hypertension; Lancet; 1976; S.1219-1221
- 15 Romero JC, Feldstein AE, Rodriguez-Porcel MG, Cases-Amenos MS, Cases-Amenos A; New insights into the pathophysiology of renovascular hypertension; Mayo Clin Proc; 1997; 72: S.251-260
- 16 Harding MB, Smith LR, Himmelstein SI, Harrison K, Phillips HR, Schwab SJ, Hermiller JB, Cavidson CJ, Bashore TM; Renal artery stenosis: prevalence and associated risk factors in patients undergoing routine cardiac catheterization; Jour Am Soc Nephrol; 1992; 2: 11 S.1608-1616
- 17 Missouris CG, Buckenham T, Cappuccio FP, Mac Gregor GA; Renal artery stenosis: a common and important problem in patients with peripheral vascular disease; Am Jour Med; 1994; 96: 1 S.10-4
- 18 Swartbol P, Parsson H, Thorvinger B, Norgren L; To what extent does peripheral vascular disease and hypertension predict renal artery stenosis?; International Angiology; 1994; 13: 2 S.109-114
- 19 Davis BA, Crook JE, Vestal RE, Oates JA; Prevalence of Renovascular Hypertension in Patients with Grade III or IV Hypertensive Retinopathy; New Engl JourMed; 1979; 301: 23 S.1273-1276
- .

- 20 Dean RH; Renovascular Hypertension; Hrsg.: Moore WS: Vascular Surgery: A comprehensive Review; Grune & Stratton; New York; 1983 S.433-463
- 21 Pickering TG, Sos TA, Laragh JH; Role of balloon dilatation in the treatment of renovascular hypertension; Am J Med; 1984; 20: 77 S.61-6
- 22 Starr DS, Lawrie GM, Morris GC Jr; Surgical treatment of renovascular hypertension. Long-term follow-up of 216 patients up to 20 years; Arch Surg; 1980; 115: 4 S.494-6
- .
- 23 Venkata C, Ram S; Southwestern Internal Medicine Conference: Current Concepts in Renovascular Hypertension; Am J Med Sci; 1992; 304: S.53-71
- 24 Kløw NE, Paulsen D, Vatne K, Rokstad B, Lien B, Fauchald P; Percutaneous transluminal renal artery angioplasty using the coaxial technique. Ten years experience from 591 procedures in 419 patients; Acta Radiol; 1998; 39: 6 S.594-603
- 25 Kuhlmann U, Greminger P, Grüntzig A, Schneider E, Pouliadis G, Lüscher T, Steurer J, Siegenthaler W, Vetter W; Long-Term Experience in Percutaneous Transluminal Dilatation of Renal Artery Stenosis; Am J Med; 1985; 79: S.692-698
- 26 Blum U, Hauer M, Krumme B; Perkutane Revaskularisation von Nierenarterienstenosen. Ballonangioplastie versus Stentimplantation; Radiologe; 1999; 39: 2 S.135-143
- 27 Kremer-Hovinga TK, de Jong PE, de Zeeuw D, Donker AJM, Schuur KH, van der Hem GK; Restenosis prevalence and long-term-effects on renal function after percutaneous transluminal renal angioplasty; Nephron; 1986; 44: Suppl 1 S.64-67
- 28 Plouin PF, Chatellier G, Darne B, Raynaud A; Blood pressure outcome of angioplasty in atherosclerotic renal artery stenosis: a randomized trial. Essai Multicentrique Medicaments vs Angioplastie (EMMA) Study Group; Hypertension; 1998; 31: 3 S.823-829
- 29 Sos TA, Pickering TG, Sniderman K, Saddekni S, Case DB, Silane MF, Vaughan ED Jr, Laragh JH; Percutaneous transluminal renal angioplasty in renovascular hypertension due to atheroma or fibromuscular dysplasia; N Engl J Med; 1983; 309: 5 S.274-9
- 30 Mahler F; Perkutane transluminale Dilatation von Nierenarterien; Dtsch Med Wochenschr; 1983; 108: 19 S.747-749
- 31 National High Blood Pressure Education Program Working Group; 1995 Update of the Working Group Reports on Chronic Renal Failure and Renovascular Hypertension; Arch Inter Med; 1996; 156: S.1938-1947
- 32 Mann SJ, Pickering TG; Detection of Renovascular Hypertension - State of the Art: 1992; Ann Int Med; 1992; 117: S.845-853
- 33 Siegenthaler W, Kuhlmann U; Renovaskuläre Hypertonie; Hrsg.: Siegenthaler W: Differentialdiagnose innerer Krankheiten; Georg Thieme Verlag; Stuttgart, New York; 1988 S.14.8 – 14.13
- 34 Wenting GJ, Tan-Tjong HL, Derkx FHM, DE Gruyn JGB, Man in't Veld AJ, Schalenkamp MADH; Split renal function after captopril in unilateral renal artery stenosis; Br Med J; 1984; 288: S.886-890
- 35 Grim CE, Luft FC, Weinberger MH, Grim CM; Sensitivity and Specificity of Screening tests for Renal Vascular Hypertension; Ann Int Med; 1979; 91: S.617-622
- 36 Maxwell MH, Rudnick MR, Waks AU; New approaches to the diagnosis of renovascular hypertension; Adv Nephrol Necker Hosp; 1985; 14: S.285-304
- 37 Muller FB, Sealey JE, Case DB, Atlas SA, Pickering TG, Pecker MS, Preibisz JJ, Laragh JH; The captopril test for identifying renovascular disease in hypertensive patients; Am J Med; 1986; 80: 4 S.633-44
- 38 Frederickson ED, Wilcox CS, Bucci CM, Loon NR, Peterson JC, Brown NL, Thompson RD, Smith TB, Wingo CS; A Prospective Evaluation of a Simplified Captopril Test for the Detection of

Renovascular Hypertension; Arch Intern Med; 1990; 150: 3 S.569-72

- 39 Gosse P, Dupas JY, Reynaud P, Jullien E, Dallochio M; Captopril test in the detection of renovascular hypertension in a population with low prevalence of the disease. A prospective study; Am J Hypertens; 1989; 2: 3 S.191-3
- 40 Derkx FH, Tan-Tjong LH, Wenting GJ, Man in 't Veld A, Schalekamp MA; Use of captopril in the diagnostic work-up of renovascular hypertension; J Hypertens; 1985; 3: Suppl 3 S.287-9
- 41 Postma CT, van der Stehen PHM, Hoefnagels WHL, de Boo T, Thien T; The Captopril Test in the Detection of Renovascular Disease in Hypertensive Patients; Arch Intern Med; 1990; 150: 3 S.625-8
- 42 Elliott WJ, Martin WB, Murphy MB; Comparison of two Noninvasive Screening Tests for Renovascular Hypertension; Arch Intern Med; 1993; 153: S.755-764
- 43 Marks LS, Maxwell MH, Varady PD, Lupu AN, Kaufman JJ; Renovascular hypertension: does the renal vein renin ratio predict operative results?; J Urol; 1976; 115: 4 S.365-8
- 44 Maxwell MH, Marks LS, Lupu AN, Cahill PJ, Franklin SS, Kaufmann JJ; Predictive value of renin determinations in renal artery stenosis; JAMA; 1977; 238: 24 S.2617-20
- 45 Maxwell HM, Bleifer KH, Franklin SS, Varady PD; Demographic Analysis of the Study; JAMA; 1972; 220: 9 S.1195-1203
- 46 Kaufmann JJ; Renovascular Hypertension: The UCLA Experience; J Urol; 1979; 121: S.139-144
- 47 Ram CVS; Renovascular Hypertension; Curr Opin Nephrol Hypertens; 1997; 6: S.575-579
- 48 Taylor AT, Fletcher JW, Nally JV, Blaufox MD, Dubovsky EV, Fine EJ, Kahn D, Morton KA, Russell CD, Skafianakis GN, Aurell M, Dondi M, Fommei E, Geyskes G, Granerus G, Oei HY; Procedure Guideline for Diagnosis of Renovascular Hypertension; J Nucl Med; 1998; 39: S.1297-1302
- 49 Hricik DE, Browning PJ, Kopelman R, Goorno WE, Madias NE, Dzau VJ; Captopril-Induced Functional Renal Insufficiency in Patients with Bilateral Renal Artery Stenoses or Renal Artery Stenosis in a Solitary Kidney; N Engl Jour Med; 1983; S.373-376
- 50 Handa N, Fukanaga R, Ogawa S, Matsumoto M, Kimura K, Kamada T; A new accurate and non-invasive screening method for renovascular hypertension: the renal artery Doppler technique; J Hypertens; 1988; 6: Suppl 4 S.458-460
- 51 Hawkins PG, McKnoulty LM, Gordon RD, Klemm SA, Tunny TJ; Renal artery duplex ultrasonography: a reliable new screening test for functionally significant renal artery stenosis; Clin Exp Pharmacol Physiol; 1989; 16: 4 S.293-297
- 52 Hoffmann U, Edwards JM, Carter S, Goldmann ML, Harley JD, Zaccardi MJ, Strandness DE; Role of duplex scanning for the detection of atherosclerotic renal artery disease; Kid Int; 1991; 39: S.1232-1239
- 53 Haag K, Blum U, Gries P, Baumann S, Sellinger M, Spamer C; Überlegenheit der Farbdopplersonographie bei der nichtinvasiven Diagnostik von Nierenarterienstenosen; Hrsg.: Anderegg A, Despland P, Henner H, Otto R: Ultraschalldiagnostik '91; Springer; Berlin Heidelberg New York Tokyo; 1991 S.131-134
- 54 Miralles M, Cairols M, Cotillas J, Gimenez A, Santiso A; Value of Doppler parameters in the diagnosis of renal artery stenosis; J Vasc Surg; 1996; 23: 3 S.428-435
- 55 Oliva VL, Soulez G, Lesage D, Nicolet V, Roy MC, Courteau M, Froment D, Rene PC, Therasse E, Carignan L; Detection of renal artery stenosis with Doppler sonography before and after administration of captopril: value of early systolic rise; AJR; 1998; 170: 1 S.169-175
- 56 Halpern EJ, Rutter CM, Gardiner GA, Nazarian LN, Wechsler RJ, Levin DB, Kueny- Beck M, Moritz MJ, Carabasi RA, Kahn MB, Smullens SN, Feldmann HI; Comparison of Doppler US and CT Angiography for Evaluation of Renal Artery Stenosis; Acad Radiol; 1998; 5: 8 S.524-532
- 57 Dubbins PA; Renal artery stenosis: duplex Doppler evaluation; Br J Radiol; 1986; 59: S.225-229

- 58 Fritsch T, Schlieff R; Levovist[®] -imaging agent; Drugs Future; 1995; 20: S.1224-1227
- 59 Karasch T, Rubin J; Diagnosis of renal artery stenosis and renovascular hypertension; Eur J Ultrasound; 1998; 7: Suppl 3 S.27-39
- 60 Jäger K; Moderne Möglichkeiten bei der Abklärung renovaskulärer Stenosen; Internist; 1991; 32: S.127-134
- 61 Stehling MK, Niedermeyer M, Laub G; Kontrastmittelverstärkte Magnetresonanztomographie; Radiologie; 1997; 37: S.501-507
- 62 Köchli VD, Marincek B; Wie funktioniert MRI?.; Springer; Berlin Heidelberg; 1998
- 63 Miller S, Schlick F, Duda SH, Nägele T, Hahn U, Teufel F, Müller-Schimpfle M, Erley CM, Albes JM, Claussen CD; GD-enhanced 3D phase-contrast MR angiography and dynamic perfusion imaging in the diagnosis of renal artery stenosis; Magn Res Imaging; 1998; 16: 9 S.1005-1012
- 64 Wasser MN, Westenber J, van der Hulst VPM, van Baalen J, van Bockel JH, van Erkel AR, Pattynama PMT; Haemodynamic Significance of Renal Artery Stenosis: Digital Subtraction Angiography versus Systolically gated Three-dimensional Phase-Contrast MR Angiography; Radiology; 1997; 202: S.333-338
- 65 Loubeyre P, Revel D, Garcia P, Delignette A, Canet E, Chirossel P, Genenin G, Amiel M; Screening patients for renal artery stenosis: value of three-dimensional TOF MR - Angiography; AJR; 1994; 162: 4 S.847-852
- 66 Duda SH, Schick F, Teufel F, Müller-Schimpfle M, Erley C, Schneider W, Miller S, Claussen CD; Phase-contrast MR angiography for detection of arteriosclerotic renal artery stenosis; Acta Radiol; 1997; 38: 2 S.287-291
- 67 De Cobelli F, Vanzulli A A, Sironi S, Melloner R, Angeli E, Venturini M, Garancini MP, Quartagno R, Bianchi G, Del Maschio A; Renal Artery Stenosis: evaluation with breath-hold, three dimensional, dynamic, gadolinium-enhanced versus three-dimensional, phase-contrast MR Angiography; Radiology; 1997; 205: 3 S.689-695
- 68 Strotzer M, Fellner CM, Geissler A, Gmeinwieser J, Koehler SM, Krämer BK, Krohmer EP; Noninvasive Assessment of Renal Artery Stenosis; Acta Radiol; 1995; 36: S.243-247
- 69 Rieumont MJ, Kaufmann JA, Geller SC, Yucel EK, Cambria RP, Fang LST, Bazari H, Waltmann AC; Evaluation of Renal Artery Stenosis with Dynamic Gadolinium-Enhanced MR Angiography; AJR; 1997; 169: S.39-44
- 70 Bakker J, Beek FJA, Beutler JJ, Hene RJ, de Kort GAP, de Lange EE, Moons KGM, Mali WPTM; Renal Artery Stenosis and Accessory Renal Arteries: Accuracy of Detection and Visualization with Gadolinium-enhanced Breath-hold MR Angiography; Radiology; 1998; 207: S.497-504
- 71 Hany TF, Pfammatter T, Schmidt M, Leung DA, Debatin JF; Ultraschnelle, kontrastverstärkte 3D-MR-Angiographie der Aorta und Nierenarterien in Apnoe; Fortschr Geb Röntgenstr Neuen Bildgeb Verfahr; 1997; 166: 5 S.397-405
- 72 Steffens JC, Link J, Grässner J, Mueller-Huelsbeck S, Brinkmann G, Reuter M, Heller M; Contrast-enhanced, K-Space-centered, breath-hold MR angiography of the renal arteries and the abdominal aorta; J Magn Reson Imaging; 1997; 7: 4 S.617-622
- 73 Snidow JJ, Johnson MS, Harris VJ, Margosian PM, Aisen AM, Lalka SG, Cikrit DF, Trerotola SO; Tree-dimensional Gadolinium-enhanced MR angiography aortoiliac inflow assessment plus renal artery screening in a single breath hold; Radiology; 1996; 198: 3 S.725-732
- 74 Ram CV, Clagett GP, Radford LR; Renovascular hypertension; Sem Nephrol; 1995; 15: 2 S.152-174
- 75 Fruhworth J, Pascher O, Hauser H, Amann W; Lokale Gefäßkomplikationen nach iatrogenen Femoralarterienpunktionen; Wien Klin Wochenschr; 1996; 108: 7 S.196-200
- 76 Silber S; Haemostasis success rates and local complications with collagen after femoral access for cardiac catheterization Analyses of 6007 published patients; Am Heart J; 1998; 135: 1 S.152-155

- 77 Johnson LW, Lozner EC, Johnson S, Krone R, Pichard AD, Vetrovec GW, Noto TJ; Coronary arteriography 1984-1987: a report of the Registry of the Society for Cardiac Angiography and Interventions. I. Results and complications; Cathet Cardiovasc Diagn; 1989; 17: 1 S.5-10
- 78 Havey RJ, Krumlovsky F, del Greco F, Gartner Martin H; Screening for Renovascular Hypertension: Is Renal Digital-Subtraction Angiography the Preferred Noninvasive Test?;; JAMA; 1985; 254: 3 S.388-393
- 79 Günther RW; Wandel der Diagnostik bei der renovaskulären Hypertonie; Fortschr. Röntgenstr; 1994; 161: 5 S.389-390
- 80 Greminger P; Renovaskuläre Hypertonie; Schweiz Med. Wschr; 1996; 126: 30 S.1314-1320
- 81 Working Group on Renovascular Hypertension; Detection, Evaluation, and Treatment of Renovascular Hypertension, Final Report; Arch Intern Med; 1987; 147: S.820-829
- 82 Olbricht CJ, Paul K, Prokop M, Chavan A, Schaefer-Prokop CM, Jandeleit K, Koch KM, Galanski M; Minimally invasive diagnosis of renal artery stenosis by spiral computed tomography angiography; Kidney Int; 1995; 48: 4 S.1332-1337
- 83 Kaatee R, Beek FJ, de Lange EE, van Leeuwen MS, Smiths HF, van der Ven PJ, Beutler JJ, Mali WP; Renal artery stenosis: detection and quantification with spiral CT Angiography versus optimized digital subtraction angiography; Radiology; 1997; 205: 1 S.121-127
- 84 Kim TS, Chung JW, Park JH, Kim SH, Yeon KM, Han MC; Renal artery evaluation: comparison of spiral CT angiography to intra-arterial DSA; J Vasc Interv Radiol; 1998; 9: 4 S.553-9
- 85 Beregi JP, Elkohen M, Deklunder g, Artaud D, Couillet JM, Wattinne L; Helical CT Angiography Compared with Arteriography in the Detection of Renal Artery Stenosis; AJR; 1996; 167: S.495-501
- 86 Wittenberg G, Kenn W, Tschammler A, Sandstede J, Hahn D; Spiral CT angiography of renal arteries: comparison with angiography; Eur Radiol; 1999; 9: S.546-551
- 87 Rubin GD, Dake MD, Napel S, Jeffrey B, Mc Donnell CH, Sommer FG, Wexler L, Williams DM; Spiral CT of Renal Artery Stenosis; Radiology; 1994; 190: S.181-189
- 88 Fletcher RH; Klinische Epidemiologie, Grundlagen und Anwendungen; Hrsg.: Haerting J, Rink Chr.: Ullstein Medical; Wiesbaden; 1999
- 89 Altma DG; Inter-Rater-Agreement; Practical statistics for medical research; Chapman & Hall; London; 1991
- 90 Galanski M, Prokop M, Chavan A, Schaefer C, Jandeleit K, Olbricht C; Leistungsfähigkeit der CT-Angiographie beim Nachweis von Nierenarterienstenosen; Fortschr. Röntgenstr; 1994; 161: 6 S.519-525
- 91 Brink AJ, Lim JT, Wang G, Heiken JP, Deyoe LA, Vannier MW; Technical Optimization of Spiral CT for Depiction of Renal Artery Stenosis: In Vitro Analysis; Radiology; 1995; 194: S.157-163
- 92 Galanski M, Prokop M, Chavan A, Schaefer C, Jandeleit K, Nischelski JE; Renal Arterial Stenoses: Spiral CT Angiography; Radiology; 1993; 189: S.185-192
- 93 Kaatee R, Van Leeuwen MS, De Lange EE, Wilting JE, Beek FJA, Beutler JJ, Mali WPTM; Spiral CT Angiography of the Renal Arteries: Should a Scan Delay Based on a Test Bolus Injection or a Fixed Scan Delay Be Used to Obtain Maximum Enhancement of the Vessels; J Comput Assist Tomogr; 1998; 22; 4 541-547.
- 94 Bruckenberg EL; Länderumfrage zur Situation der medizinisch-technischen Großgeräte in Deutschland, Stand 1.1.1997 Niedersächsisches Sozialministerium 1997
- 95 Richter K, Lange S; Methoden der Diagnoseevaluierung Internist 1997 38 325-336
- 96 Olbricht C, Galanski M, Chavan A, Prokop M; Spiral CTA- can we forget about arteriography to diagnose renal artery stenosis Nephrol Dial Transplant 1996 11 1227-1231
- 97 Webster J, Marshall F, Abdalla M, Dominiczak A, Edwards R, Isles CG, Loose H, Main J, Padfield P,

- Russel IT, Walker B, Watson M, Wilkinson R Randomised comparison of percutaneous angioplasty vs continued medical therapy for hypertensive patients with atheromatous renal artery stenosis. Scottish and Newcastle Renal Artery Stenosis Collaborative Group *J Hum Hypertens* 1998;12:329-335
- 98 Greminger P, Kuhlmann U, Vetter W, Grüntzig A, Schneider E, Pouladis G, Wehling M, Neyses L, Siegenthaler W Langzeitverläufe nach perkutaner transluminaler Dilatation von Nierenarterienstenosen *VASA* 1982;11:4362-366
- 99 Geyskes GG, Puylaert CB, Oei HY, Mees EJ Follow up study of 70 patients with renal artery stenosis treated by percutaneous transluminal dilatation *Br Med J* 1983;28:76 333-336
- 100 Hirning T, Gerlach A, Arlart I PTA von 131 Nierenarterienstenosen: Hypertoniebehandlung und Organerhaltung *Rofo Fortschr Geb Roentgenstr Neuen Bildgeb Verfahr* 1993;158:2115-120
- 101 Prokop M CT-Angiographie Klöppel R, Heuser L *Spiral-CT* Hans Huber München 1998:162 - 182
- 102 Rubin GD, Dake MD, Napel S, McDonnell CH, Jeffrey RB Three-dimensional Spiral CT Angiography of the Abdomen: Initial Clinical Experience *Radiology* 1993;186:147-152
- 103 Prokop M, Schaefer C, Kalender WA, Polacin A, Galanski M Gefäßdarstellungen mit Spiral-CT *Radiologie* 1993;33:694-704
- 104 Dillon, van Leeuwen MS, Fernandez MA, Mali WP TMSpiral CT Angiography *AJR* 1993;160:1273-1278
- 105 Kalender WA, Wedding K, Polacin A, Prokop M, Schaefer-Prokop C, Galanski M Grundlagen der Gefäßdarstellung mit Spiral-CT *Akt. Radiol* 1994;42:287-297
- 106 Kalender WA, Vock P, Polacin A, Soucek M Spiral-CT: Eine neue Technik für Volumenaufnahmen 1. Grundlagen und Methodik *Röntgenpraxis* 1990;43:23-330
- 107 Soucek M, Vock P, Daepf M, Kalender W Spiral-CT: Eine neue Technik für Volumenaufnahmen Klinische Anwendungsmöglichkeiten *Röntgenpraxis* 1990;43:365-375
- 108 Polacin A, Kalender WA, Marchal G Evaluation of Section Sensitivity Profiles and Image Noise in Spiral CT *Radiology* 1992;185:29-35
- 109 Rubin GD Spiral (helical) CT of the renal vasculature *Semin Ultrasound CT MR* 1996;17:4374-397
- 110 Kaatee R, Beek FJ, Verschuyf EJ, v.d. Ven PJ, Beutler JJ, van Schaik JP, Mali WP Atherosclerotic renal artery stenosis: ostial or truncal? *Radiology* 1996;199:637-640
- 111 Bluemke D, Chambers P Spiral CT Angiography: An Alternative to Conventional Angiography *Radiology* 1995;195:317-319
- 112 White CJ, Ramee SR, Collins TJ, Jenkins JS, Escobar A, Shaw D Renal artery stent placement: utility in lesions difficult to treat with balloon angioplasty *J Am Coll Cardiol* 1997;30:61445-50
- 113 Napel S, Marks MP, Rubin GD, Dake MD, McDonnell CH, Song SM, Enzmann DR, Jeffrey RB CT Angiography with Spiral CT and Maximum Intensity Projection *Radiology* 1992;185:607-610
- 114 Beck K, Hilden T The frequency of secondary hypertension *Acta Medica Scandinavica* 1975;197:1-265-69
- 115 Berglund G, Andersson O, Wilhelmsen L Prevalence of primary and secondary hypertension: studies in a random population sample *Br Med J* 1976;25:54-556
- 116 Greminger P, Vetter W, Zimmermann K, Beckerhoff R, Siegenthaler W Primäre und sekundäre Hypertonie in einem poliklinischen Krankengut *Schweiz Med Wschr* 1977;107:605-609
- 117 Dondi M, Franch R, Levorato M, Zuccala A, Gaggi R, Mirelli M, Stella A, Marchetta F, Losinno F, Monetti N Evaluation of Hypertensive Patients by Means of Captopril Enhanced Renal Scintigraphy with Technetium-99m DTPA *J Nucl Med* 1989;30:5615-621
- 118 McLean AG, Hilson AJW, Scoble JE, Maher ER, Thakrar DS, Moorhead JF, Sweny P Screening for renovascular disease with captopril-enhanced renography *Nephrol Dial Transplant* 1992;7:211-215

- 119 Mann SJ, Pickering TG, Sos TA, Uzzo RG, Sarkar S, Friend K, Rackson ME, Laragh JHCaptopril renography in the diagnosis of renal artery stenosis: accuracy and limitationsAm J Med199190130-40
- 120 Chen CC, Haffer PB, Vahjen G, Gottschalk A, Koste K, Zubai G, Setarc JF, Roer DA, Black ERPatients at high risk for renal artery stenosis: a simple method of renal scintigraphic analysis with Tc-99m DTPA and CaptoprilRadiology19901762365-370
- 121 Lawrie GM, Morris GC Jr, Glaeser DH, DeBaakey MERenovascular reconstruction: factors affecting long-term prognosis in 919 patients followed up to 31 yearsAm J Cardiol19891 63151085-92
- 122 Lieberenz SPhysikalisch- technische GrundlagenKlöppel R, Heuser LSpiral- CTHans Huber München1998 13- 23
- 123 Kalender WAGrundlagen und Technik der Spiral- CTRadiologe199939809- 819
- 124 Shrimpton PC, Jones DG, Hillier MC, Wall BF, Le Heron JC, Faulkner KSurvey of CT practice in the UK. Part 2: Dosimetric aspects
- 125 Klöppel R, Gosch DPraktische Aspekte der Spiral- computertomographischen ProtokollgestaltungKlöppel R, Heuser LSpiral- CTHans HuberMünchen199830- 48

Erklärung an Eides Statt

Hiermit erkläre ich an Eides Statt, dass die vorgelegte Dissertation von mir selbst und ohne die unzulässige Hilfe Dritter verfasst wurde, auch in Teilen keine Kopie anderer Arbeiten darstellt und die benutzten Hilfsmittel sowie die Literatur vollständig angegeben sind.

Jena, den 18. 03. 2000

Stefan Ludewig

Danksagung

Mein besonderer Dank für die Überlassung des Themas gilt dem Chefarzt des Instituts für Röntgendiagnostik der Charité, Berlin, Herrn Prof. Dr. Bernd Hamm.

Desweiteren danke ich Herrn PD Dr. Sven Mutze für seine freundliche Betreuung und die Befunderstellung, Herrn Dr. med. Patric Rogalla für die Durchführung der Untersuchungen und hilfreiche Unterstützung meiner Tätigkeit, sowie Herrn Dr. med. Dirk Stockheim, der ebenfalls an der Befunderstellung mitwirkte.

Danken möchte ich nicht zuletzt meinen Eltern, die mir stets beratend zur Seite stehen, sowie allen Freunden und Bekannten, deren Freundschaft und Unterstützung wesentlich für meinen persönlichen Werdegang war.

Lebenslauf

STEFAN LUDEWIG

99425 WEIMAR

Lenbachweg 10

Geburtsdatum: 10. 07. 1971

Geburtsort: Schlema

Nationalität: deutsch

Vater: Dr. Helmuth Ludewig, Arzt

Mutter: Dr. Wilma Ludewig, geb. Ernst, Ärztin

Abitur

Erweiterte Oberschule Stollberg / Sachs.

Juli 89

Medizinstudium

Medizinische Fakultät Charité der Humboldt - Universität zu Berlin

Okt.91 bis Dez.97

Medizinische Fakultät der Friedrich - Schiller - Universität Jena, Zweithörerschaft

März 97 bis Sep.97

Praktisches Jahr

Chirurgie/ Traumatologie, Urologie Saalfeld

Innere Medizin Walsall (England), Breitenbach (Schweiz)

Okt.96 bis Okt.97

Arzt im Praktikum

Viszeralchirurgie, Traumatologie Weimar

Dez.97 bis Jun.99

Approbation als Arzt

Landesamt für Gesundheit und Soziales Berlin

15. Juni 99

Assistenzarzt

Klinik für Allgemein- und Viszeralchirurgie der medizinischen Fakultät der Friedrich - Schiller - Universität Jena

seit Juli 99